

PLA-kuidun ja villan yhdistelmät sekä kuitukankaat

**Ruismäki Päivi
2014**



Aalto-yliopisto
Taiteiden ja suunnittelun
korkeakoulu

Aalto-yliopisto, PL 11000, 00076 AALTO

www.aalto.fi

Taiteen maisterin opinnäytteen **tiivistelmä**

Tekijä Pivi Ruismäki

Työni mi PLA-kuidun ja villan yhdistelmästä sekä kuitukankaat

Laitos Muotoilun laitos

Koulutusohjelma Tekstiilitaiteen koulutusohjelma

Vuosi 2014

Sivumäärä 73

Kieli suomi

Opinnäytetyö perustuu biohajoavan muovin, polylaktidin (PLA), ja tekstiilikuitujen yhdistämiseen sekä yhdistelmien materiaalilähtöiseen hyödyntämiseen tekstiilisuunnittelun ja muotoilun näkökulmasta. PLA:n ominaisuudet tekevät siitä kiinnostavan: se on biohajoavaa, helposti lämpömuovautuvaa ja sen vaikutukset pehmeään tekstiiliin kovettamisessa vaihtelevat PLA:n määrästä riippuen.

Työn tavoitteena on löytää materiaalikokeilujen kautta uusia ympäristömyönteisiä PLA-kuidun ja villan yhdistelmiä ja / tai komposiittimateriaaleja sekä etsiä niiden käyttömahdollisuuksia tekstiilisuunnittelun ja muotoilun viitekehysessä. Materiaalina käytän työssäni PLA-katkokuitua, PLA-pohjaisia kuitukankaita ja villakuitua. PLA-katkokuitua yhdistän eri suhteissa villakuituun. Toisena lähtökohtana käytän valmiita Biolace-kuitukankaita, joissa PLA:n osuus on 35 % viskoosin ja viskoosi/puuvillan lisäksi, sekä 100 % PLA-kuitukangasta. PLA-pohjaisten kuitukankaiden niukasti energiaa kuluttava valmistusprosessi lisäsi kiinnostustani niiden hyödyntämiseen. Pyrin hyödyntämään ne PLA:n ja villakuidun ominaisuudet, jossa nämä yhdistettynä tukevat toisiaan ja luovat uusia ulottuvuuksia tekstiilisuunnittelun alueella. Tavoitteena on etsiä myös käytettävissä oleville kuitukankaille uusia visuaalisia ratkaisuja ja käyttöalueita.

Työn kirjallisessa osassa perehdyn PLA-kuituun, kuitukankaisiin ja PLA-komposiittien käyttösovelluksiin. Tarkastelen myös biomuovien sekä kuitukankaiden käyttöä kestävä kehityksen kannalta. Kirjalliseen osioon kuuluvat lisäksi materiaalikokeilujeni eri prosessit sekä tulosten analysointia. Opinnäytteeseen sisältyy myös materiaalikokeiluihini perustuva ideakokoelma, jonka avulla esittelen mielenkiintoisimmat tulokset.

Tulosten perusteella PLA- ja villakuituyhdistelmät soveltuvat varsin hyvin komposiittimateriaa-leiksi. Kokeilujeni kautta löysin uusia sekoitussuhteita sekä materiaaliyhdistelmiä, joita voi hyödyntää tekstiilisuunnittelun ja muotoilun inspiraationa. PLA:n suoma läpikuultavuus sekä sen kovettava vaikutus yleensä pehmeisiin tekstiilirakenteisiin nousevat esille. Alipainepuristimen tai tyhjiömuovauksen hyödyntäminen yhdessä muottien tai metalliverkkojen kanssa mahdollistavat struktuuripintaisen materiaalin valmistuksen, mikä voisi olla varsin nopea ja energiatehokas menetelmä verrattuna kudontaan tai neulontaan. PLA-pohjaisten kuitukankaiden monipuolinen käytettävyys vaikkapa lämmön avulla päällekkäin yhdistellessä on myös kiinnostavaa.

Abstract



**Aalto University
School of Arts, Design
and Architecture**

Aalto University, P.O. BOX 11000, 00076 AALTO

www.aalto.fi

Master of Arts thesis abstract

Author Päivi Ruismäki

Title of thesis Nonwoven Fabrics and Fiber of PLA and Wool combinations

Department Department of Design

Degree programme Degree programme in Textile Art and Design (MA)

Year 2014

Number of pages 73

Language Finnish

The purpose of this thesis is to combine the biodegradable plastic of polylactide (PLA) with textile fibers and make use of the combinations and the composites as materials-based view of textile design. The fiber of PLA is very interesting because of its varied characteristics: it is biodegradable, easily thermoplastic and its impact on the hardening of soft textile varies a lot depending on the amount of PLA.

The purpose of this study is to find new ecological combinations of PLA and wool or composites by material experiments and find out how to use them in the context of textile art and design. In the study PLA was used as staple fiber and also PLA-based nonwoven fabrics and wool fiber were used. PLA-fiber was combined with wool in different ratios. Also PLA-based nonwoven fabrics were used. Manufacturing process of the nonwovens needs less energy than weaving and knitting and which were interesting to make use in this thesis. In the study 100 % PLA-nonwoven fabrics and Biolace nonwoven fabrics, that contain 35 % PLA added to viscose and viscose/cotton were used. In this study use of these features of PLA and those of wool, supported each other when combined together. It seems to create new potentials in the field of textile design. One aim is to find out new visual designs and applications for nonwoven fabrics.

The theoretical part of the thesis includes issues of PLA, nonwoven fabrics and some previous applications using PLA-based composites. The ecological view of bioplastics and nonwoven fabrics is included. The theoretical part of the thesis also deals with experimental processes and analysis of results. In addition to that, the thesis includes selection of material samples with new ideas and visual designs for the composites and the textile combinations.

The results show that the PLA- and wool fibers are suitable materials to be used together and as composites. Through experiments new combinations and composites made of PLA- and wool fibers were found to be used in textile design. The advantage of PLA is translucidity and its effect to make soft textiles harder. The use of moulds or wire mesh with vacuum-molding press and machine to get structure to materials is a fast and energy-efficient process compared to weaving or knitting, for which also production of threads is needed. Diversified usability of PLA-based nonwoven fabrics for example used on top other with heating is interesting.

Sisällysluettelo

Sivunumero

1. Johdanto	6 - 7
2. Työn keskeiset käsitteet ja termit.....	8 - 9
Materiaaleihin tutustuminen	
3. Biomuovit ja PLA	12
3.1. Biomuovien jaottelu	12 - 13
3.2. PLA (polylaktidi)	13
3.2.1. PLA:n ominaisuudet	14
3.2.2. PLA:n vertailu yleisimpiin tekstiilikuituihin	15
3.2.3. PLA:n sovelluskohteita	16
3.3. Biomuovit ja kestävä kehitys	16 - 19
4. Kuitukankaat	20
4.1. Kuitukankaiden valmistus	20 - 21
4.2. Kuitukankaiden tuotanto	22
4.3. Kuitukankaat ja kestävä kehitys	23-24
5. Käytettävät materiaalit	25
5.1. Kuitukankaat, PLA- ja villakuitu	25
5.2. Biokomposiittien materiaalit	26
6. Biokomposiittien tarveselvitys ja käyttösovelluksia	27
6.1. Luonnonkuitukomposiittien tarveselvitys	27
6.2. PLA-pohjaisten komposiittien käyttösovelluksia	28 - 31
Materiaaikoikeilut	
7. Materiaalikoikeilujen esivalmistelut	34
7.1. Karstaus	34 - 35
7.2. Karstatun materiaalin tiivistäminen silittämällä	35
7.3. PLA/villa-komposiittimateriaalien eri sekoitussuhteet	36
7.4. Värjäys ja kankaanpainanta	37
7.4.1. Värjäys Remazol-reaktiivivärillä	37
7.4.2. Painaminen ja värjääminen Imperon-pigmenttiväreillä käyttäen painopastaa	37 - 38
7.4.3. Värjäys musteella	38
7.4.4. Ingeo-polylaktidilangan värjäys	39

Sisällysluettelo

Sivunumero

7.5.	Muottien valmistus	40
7.6.	Kuitukankaiden peseminen	41
8.	Materiaalikokeilujen menetelmät	42
8.1.	Leikkaaminen ja silittäminen	42
8.2.	Rypyttäminen ja silittäminen	42
8.3.	Muottien sekä uunin, tyhjiömuovauskoneen ja alipainepuristimen hyödyntäminen	43 - 44
8.4.	Kipsimuotin hyödyntäminen silityksen yhteydessä	45

Materiaalinäytteet

9.	Materiaalinäytekokielma ja sovellusehdotukset	48
9.1.	Kuitukankaat	48
9.1.1.	Värjätyt kuitukankaat	48 - 49
9.1.2.	Rypytyt ja silitetyt kuitukankaat	50 - 52
9.1.3.	Leikatut yksikerroksiset kuitukankaat	52
9.1.4.	Monikerroksiset ja silitetyt kuitukankaat	53
9.1.5.	Paloiksi leikatut tai revityt ja yhteen silitetyt kuitukankaat	54 - 55
9.2.	PLA- ja villakuituyhdistelmät ja PLA-pohjaiset komposiitit	56
9.2.1.	Silitetyt PLA/villakuitu yhdistelmät	56
9.2.2.	Muotilla tehdyt PLA- ja villakuitumateriaalit sekä komposiitit	57 - 60
9.3.	Sekatekniikat	61 - 65
10.	Johtopäätökset	66 - 67
11.	Lähteet ja tutkimusmateriaalit	68 - 73
	Kirjallisuus	
	Sähköiset lähteet	
	Kuvat	

Liitteet	Tiivistelmä
	Materiaalinäytekokielma

Opinnäytetyö perustuu biohajoavan muovin, polylaktidin (PLA), ja tekstiilikuitujen yhdistämiseen sekä näiden yhdistelmien materiaalilähtöiseen muotoiluun tekstiilisuunnittelun näkökulmasta. Kiinnostukseni PLA-kuitujen käyttömahdollisuuksiin heräsi Experimental Material -kursilla Aalto-yliopiston Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulussa. Kurssilla saimme vapaasti tehdä erilaisia kokeiluja yhdistämällä PLA-kuitua mm. erilaisiin tekstiilikuituihin. PLA:n helppo lämpömuovautuvuus ja sen vaikutukset pehmeän tekstiilin kovettamisessa lisäsivät kiinnostustani materiaalia kohtaan. Myös materiaalin biohajoavuus on tärkeä ominaisuus, kun tavoitteenani on löytää ympäristömyötäisiä tekstiilisuunnittelun ratkaisuja. Kiinnostusta lisäsi vielä kurssin opettajan taiteen tohtorin Tiina Härkäsalmen innostava suhtautuminen PLA-kuituun sekä hänen kanssaan käymäni keskustelu, jossa hän kertoi Tampereen teknillisen yliopiston ja Helsingin yliopiston kanssa tekemästään tutkimuksesta pellavan ja PLA-kuitujen yhdistämisessä.

Käytin materiaalikokeiluihini Suominen Oy:ltä saamiani PLA-katkokuitua, PLA-kuitukangasta sekä Biolace® -kuitukankaita Vanaja ja Saimaa, joissa viskoosin ja viskoosi/puuvillaseoksen lisäksi on 35% polylaktidia. Biolace®-kuitukankaat on valmistettu täysin uusiutuvista raaka-aineista. Tavoitteenani materiaalikokeiluissa oli myös löytää kuitukankaalle uusia visuaalisia ratkaisuja. Nimenomaan kuitukankaan hyödyntämisen näen tärkeäksi siksi, että sen valmistamiseen ei liity kutomista tai neulomista eikä varsinaista langan valmistusprosessia tarvita lainkaan. Niinpä sen valmistus kuluttaa perinteisiä kankaanvalmistusmenetelmiä vähemmän energiaa ja on siksi ympäristömyötäisempää. Tämän pohjalta yhdeksi tavoitteekseni opinnäytetyössäni tuli myös lähestyä tekstiilisuunnittelua ja muotoilua lähinnä muiden kuin kutomis- ja neulontatekniikoiden kautta.

Materiaalikokeiluillani pyrin löytämään PLA- ja villakuidun yhdistelmäateriaalin, jossa voisi hyödyntää molempien kuitujen ominaisuuksia. Tavoitteena on ollut löytää kuitukankaiden lisäksi myös biohajoavan komposiitti- ja/tai yhdistelmäateriaalin tarjoamat visuaaliset sekä käytännölliset ratkaisut tekstiilisuunnittelun, -taiteen ja muotoilun alueilla.

PLA on keksitty 1930-luvulla ja sitä on tutkittu 1970-luvulla hyvinkin paljon lääketieteen sovellusten hyödyntämiseen. Sitä on käytetty jo pitkään esimerkiksi haavoihin ommeltavien tikkien ompeluun sekä luukirurgiassa kiinnittiminä, jotka liukenevat vähitellen elimistöön. Myös pakkausteollisuus on hyödyntänyt PLA:ta sen muovin ja biohajoavien ominaisuuksien vuoksi. Yllättävää onkin, että vasta 2000-luvulta löytyy tutkimuksia tekstiilikuitujen yhdistämisestä PLA-kuituun kuten Tiina Härkäsalmen pellava/PLA-komposiittimateriaalien tutkimukset sekä esim. Samuli Naamangan Piironen Oy:lle suunnittelemat tuolit, jossa materiaalina on käytetty pellavakuitua sekä PLA:a.

Yhdistin PLA-katkokuitua villakuituun karstaamalla ja sen jälkeen lämmön avulla sulatin ne kiinteämmiksi komposiiteiksi tai yhdistelmäateriaaleiksi. Valmiita Biolace® -kuitukankaita yhdistin päällekkäin silittämällä tai silitän niiden pinnalle pelkkää PLA-katkokuitua, PLA-kuitukangasta, villaa tai niiden yhdistelmiä. Kuumentamiseen käytin joko silitysrautaa, hiustenkuivaajaa, tyhjiömuovauskonetta, alipainepuristinta tai uunia tavoitteistani riippuen. Halutessani jotain tiettyä pintastruktuuria hyödynsin tyhjiömuovauskonetta tai alipainepuristinta, jota varten valmistin kipsimuotit erikseen, tai käytin jo olemassa olevia lämmönkestäviä verkkoja tai muotteja, joiden päälle asetin PLA-pohjaiset materiaaliyhdistelmät. Pyrin löytämään yhdistelmäateriaaleille ja komposiiteille erilaisia kovuusasteita vaihtelemalla käytettävien materiaalien määrän suhdetta. Kuitukankaita

kuvioin leikkaamalla tai tavoitellessani erilaisia pintastruktuureja muun muassa rypytin niitä ennen kuumentamista. Värjäämiseen ja painamiseen käytin reaktiivi- ja pigmenttivärejä sekä mustetta.

Kirjallisessa osassa perehdyn biomuoveihin yleensä ja PLA:iin sekä siitä tehtyihin aikaisempiin käyttösovelluksiin mm. komposiittimateriaalina. Käyn läpi myös kuitukankaiden valmistusmenetelmiä sekä pohdin myös kuitukankaiden käyttöä ekologisuuden ja kestäväen kehityksen kannalta. Kirjallisessa osassa kuvaan myös materiaalikoeluihini kuuluvia prosesseja. Oppinnäytteeseen sisältyy lisäksi materiaalikoeluihini perustuva erillinen ideakokoelma, jonka avulla esittelen mielenkiintoisimmat tulokset. Kirjallisessa osassa materiaali-ideoista on valokuvat sekä ehdotukseni niiden käyttömahdollisuuksista.

2 Työn keskeiset käsitteet ja termit

Komposiitti

Komposiitti on yleisnimi kaikille kahden tai useamman materiaalin yhdistelmille, joissa materiaalit toimivat yhdessä, mutta eivät ole lienneet tai sulautuneet toisiinsa. Joskus materiaalit ovat tasavertaisia niin, ettei niiden tehtävää komposiitin muodostuksessa voi määritellä. Yleensä komposiitista voidaan kuitenkin nimetä materiaaliyhdistelmän kokonaisuudeksi sitova ainesosa, jota kutsutaan matriisiksi. Matriisin yhteen sitomat muut aineosat voivat olla esimerkiksi hienojakoisia partikkeleita tai ohuita kuituja. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars, & Komppa 2003, 17)

Muovikomposiitit ovat yksi komposiittien tärkeimmistä alaryhmistä. Niissä muoviaiaine toimii komposiitin matriisina. Matriisi voi olla useamman muovin seos, jolloin sekin on jo muovikomposiitti. Muovien ja muoviseosten ominaisuuksia voidaan edelleen modifioida täyteaineilla. Muovikomposiitteihin voidaan lukea kuuluviksi myös solumuovit, joissa muovin tai muoviseoksen 'täyteaineena' on kaasumainen aineosa. (Saarela, ym. 2003, 18)

Biokomposiitti

Biokomposiitti on materiaali, jossa matriisi on vahvistettu yleensä kasvi- tai selluloosaperäisillä kuiduilla. Biokomposiitissa ainakin toinen ainesosa on biopohjainen. (Nilsson, Pia 2013. Wikipedia 2014)

Biohajoava materiaali ja kompostoitavuus

Standardissa SFS-EN-13432 on käsitelty biohajoavuuden sekä kompostoitavuuden määritelmät. Biohajoavuuden määritelmän mukaan orgaanisen kemiallisen yhdisteen hajoaminen tapahtuu mikro-organismien avulla hapen läsnä ollessa hiilidioksidiksi, vedeksi ja muiden läsnä olevien alkuaineiden kivennäissuoloiksi (mineralisaatio) sekä uudeksi biomassaksi tai hapen puuttuessa hiilidioksidiksi, metaaniksi, kivennäissuoloiksi sekä uudeksi biomassaksi 3-6 kuukauden aikana. Hajoaminen voi myös tapahtua luonnossa suoraan ilman kompostointiolosuhteita. Kompostoitavuudessa on kyse vastaavasta tapahtumasta, mutta aikajänne on merkittävästi pidempi (n. 1-4 vuotta) ja kompostoitavat materiaalit vaativat tietyt olosuhteet kompostoituaan. Esimerkiksi maankaatopaikoilla ei jätteen tiiveydestä ja huonosta bakteerikannasta johtuen tapahdu juurikaan kompostoitumista. (SFS-EN 13432 2001)

Biopohjaiset ja biohajoavat muovit

Biopohjaiset muovit on valmistettu osittain tai kokonaan uusiutuvista raaka-aineista, mutta nämä eivät ole biohajoavia. Biohajoavat muovit ovat joko synteettisiä tai luonnon raaka-aineista eli biomassasta saatuja polymeerejä, jotka mikro-organismit hajottavat ennalta määritetyissä olosuhteissa vedeksi, hiilidioksidiksi (tai metaaniksi) sekä biomassaksi. Uusiutuvista raaka-aineista valmistettujen biohajoavien muovien raaka-aineena on mm. sokeri, tärkkelys tai selluloosa. (European Bioplastics, 2012; Wikipedia, 2013)

2 Työn keskeiset käsitteet ja termit

Kuitukankaan määritelmä SFS-EN 29092 -standardin mukaan

Kuitukangas on toisiinsa nähden suuntautuneista tai sekaisin olevista kuiduista valmistettu arkki, raina tai vanu, jossa kuidut sitoutuvat toisiinsa kitkan ja/tai koheesion ja/tai adheesion avulla, lukuun ottamatta paperia ja tuotteita, jotka on kudottu, neulottu, tuftattu, langoilla tikattu tai huovutettu. Kuidut voivat olla luonnonkuituja tai tekokuituja, katko- kuituja tai jatkuvia filamenttikuituja tai integroidusti muodostettuja.

Definition nonwoven:

A manufactured sheet, web or batt of directionally or randomly orientated fibres, bonded by friction, and/or cohesion and/or adhesion, excluding (see note 1) paper and products which are woven, knitted, tufted, stitch-bonded incorporating binding yarns or filaments, or felted by wet-milling, whether or not additionally needled. see note 2).

The fibres may be of natural or man-made origin. They may be staple or continuous filaments or be formed in situ (see note 3)

Note1) to distinguish wet-laid nonwovens from wet-laid papers, a material shall be regarded as a nonwoven if

- a) more than 50 % by mass of its fibrous content is made up of fibres (excluding chemically digested vegetable fibres) with a length to diameter ratio greater than 300; or, if the conditions in a) do not apply, then
- b) if following conditions are fulfilled

- 1) more than 30 % by mass of its fibrous content is made up of fibres (excluding chemically, digested vegetable fibres) with a length to diameter ratio greater than 300 and
- 2) its density is less than 0,40 g/cm³

Note2) The commonly used term "needlefelt" has given rise to some confusion since it restrictively associates needling with felting or felt-like products. In fact, needling (mechanical interlocking of fibres by specially designed needles or barbs) is a major bonding method of nonwovens in its own right and it frequently the only consolidation route for nonwovens ranging from medical/hygienic disposables to spun-laid geotextiles.

Note 3) The appearance of a relatively new group of products such as split-films, extruded meshes and nets, etc., presents a further borderline case between nonwovens and related technologies (in this case, plastics). For the purpose of this international Standard, products shall be regarded as nonwovens if they meet the requirements of the core definition above and where their main structural element can be regarded as fibrous, however derived.

Note4) Viscose is not considered to be a chemically digested vegetable fibre.

Note 5) Density may be determined using the methods specified in ISO 9073-1 and ISO 9073-2.

(SFS-käsikirja 27-3 2009,19)



Materiaaleihin tutustuminen

tässä osiossa tutustutan lukijan materiaaleihin, joita käytän opinnäytetyössäni (luvut 3-6). Keskeisin käytettävistä materiaaleista on PLA (polylaktidi), joka kuuluu biohajoaviin muoveihin. Sen myötä käyn läpi biomuovien taustaa yleisesti sekä tarkemmin PLA:a ja sen ominaisuuksia. Tarkastelen myös biomuoveja kestävän kehityksen kannalta (luku 3). Käytössäni on myös kuitukankaita joiden valmistusprosessia kuvaan luvussa 4 sekä kestävän kehityksen ideologiaa kuitukankaiden pohjalta. Luku 5 sisältää yksityiskohtaisempia tietoja käytettävissä oleviin materiaaleihini. Pieni katsaus biokomposiiteista tehtyyn tarveselvitykseen sekä erilaisten PLA-pohjaisten biokomposiittien käyttösovelluksista löytyvät luvusta 6.

Muoveja valmistetaan sekä fossiilisista että uusiutuvista raaka-aineista. Koska tavoitteena on vähentää riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista ja yleisenä suuntauksena siirtyä kierrätettävien ja uusiutuvien materiaalien käyttöön, muoviala on alkanut etsiä uusia vaihtoehtoja sekä hankkia että tuottaa omia raaka-aineitaan. Se on innovoitunut löytämään kokonaan uusia muovinvalmistusmenetelmiä. (Muoviteollisuus ry, 2013.)

Muovien valmistuksessa monomeerit ketjutetaan kemiallisissa prosesseissa niin, että niistä tulee polymeerejä. Polymeerien valmistukseen voidaan käyttää myös luonnon monomeerejä, kuten laktoosia, glukoosia, rasvahappoja tai glyseriiniä. Eli biomuovien raaka-aineena voidaan käyttää sokeria, tärkkelystä, selluloosaa tai erilaisia rasvoja ja öljyjä. (Muoviteollisuus ry, 2013.)

Biomuovilla tarkoitetaan biomateriaalia, jonka pääainesosa on kasvukunnasta peräisin oleva polymeeri, joka erotellaan muista kasvskomponenteista tai jalostetaan joko kemiallisesti (esim. selluloosa, tärkkelys, luonnonkumi ja bakteereissa muodostuneet polyesterit) tai bioteknologisesti, jolloin raaka-aineena käytetyt kemikaalit, monomeerit, on valmistettu fermentoimalla eli käymisreaktion tuotteina. Fermentoiminen on ollut tunnettu prosessi jo vuosituhsia, mutta vasta viimeisen kahden vuosikymmenen aikana sitä on alettu soveltaa muoviteollisuudessa (Bioteknologia info, 2013; Södergård, A. Turun sanomat, 2005.)

Muoveja voidaan jaotella monin tavoin. Esimerkiksi molekyyliarakenteen mukaan voidaan puhua amorfisista ja osakiteisistä muoveista, tai kemiallisen rakenteen mukaan jaoteltavat luokitellaan kestumuoveihin, kertamuoveihin ja elastomeereihin. Muovit voidaan jakaa myös lähtöaineiden mukaan synteettisiin ja luonnollisiin polymeereihin sekä biohajoaviin ja hajojamattomiin. (Muovimuotoilu 2012)

3.1. Biomuovien jaottelu

Biomuovit ovat biopohjaisia, biologisesti hajovia tai molempia. Ne eivät kuulu mihinkään tiettyyn muovityyppiin vaan ne ovat pikemminkin ryhmä muovimateriaaleja, joiden ominaisuudet voivat vaihdella huomattavasti toisistaan. Biomuovit voidaan jakaa oikeastaan kolmeen pääryhmään, joissa on omat ominaispiirteensä:

- Ne on valmistettu osittain tai kokonaan uusiutuvista raaka-aineista, mutta nämä eivät ole biohajoavia (kuten PE, PET tai tekniset polymerit kuten polyamidit)
- Ne ovat biopohjaisia sekä biohajoavia kuten PLA ja PHA (polyhydroxyalkanoate)
- Muovit on valmistettu fossiilisista raaka-aineista ja ovat biohajoavia kuten esim. PBAT (polybutylene adipate terephthalate) tai PBS (polybutylene succinate). (European Bioplastics/Driving the evolution of plastics. 2013, s. 7.)

Muovien raaka-aineiden ryhmät
(Taulukko 1)

1. Biopohjaiset ja biohajoavat muovit
 2. Biopohjaiset muovit
 3. Öljypohjaiset, biohajoavat muovit
 4. Öljypohjaiset, tavalliset muovit
- (Oldenburg, K. 2012, 12)

Biopohjainen	1. Tärkkelys PLA PHA	2. Biopohjaiset: PE, PP, PA11, PET, etc.
	3. PVA PCL PBS	4. PE, PP, PC, PVC, PET, ABS, PA, etc.
Öljypohjainen	Biohajoava	Ei biohajoava
Taulukko 1: Raaka-aineiden ryhmät		

Taulukko 1: Oldenburg, K. 2012,12

Lisäksi biomuovien luokitteluun vaikuttavat termit biohajoavuus ja kompostoitavuus, jotka on määritetty kansainvälisesti hyväksytyissä standardeissa. Sekä uusiutuviin että fossiilisiin raaka-aineisiin pohjautuva muovi voi olla biohajoavaa. (Muoviteollisuus ry, 2013.)

Biohajoavat muovit ovat materiaaleja, joita mikro-organismit (bakteerit tai sienet) voivat hajottaa ennalta määrätyissä olosuhteissa vedeksi, hiilidioksidiksi ja biomassaksi. Kaikkia biohajoavia muoveja ei valmisteta biomassasta (kasveista). Useat biohajoavat muovit valmistetaan öljystä samoin kuin perinteiset muovit. (Futurenergia, 2013; Muoviteollisuus ry, 2013)

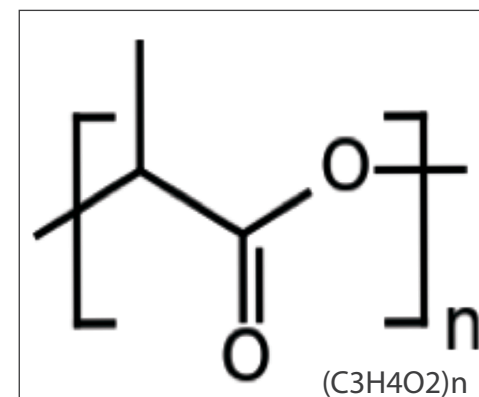
Biohajoavat polymeerit voidaan jakaa myös kahteen ryhmään: synteettisiin ja luonnon polymeereihin.

- Valtaosa synteettisistä on polyestereitä. Synteettisiä biohajoavia polymeerejä voidaan valmistaa kontrolloidusti ja näin pitää sekä kemialliset että mekaaniset ominaisuudet, kuten hajoamisnopeus, elastisuus ja vetolujuus, samoina valmistuserästä toiseen.
- PLA on yksi tärkeimmistä luonnon polymeereistä. Muita ovat proteiinit kuten villa, silkki ja kaseiini. (Randén, Reija. 2007, 16; Tavani, 2013.)

3.2. PLA (polylaktidi)

Polylaktidi (PLA) tai polymaitohappo* on lämpömuovautuva alifaattinen polyesteri, orgaaninen yhdiste, jota saadaan uusiutuvista luonnonvaroista kuten maissitärkkelyksestä (USA), tapiokan juurista (lähinnä Aasia) sokeriruo'osta (muut maat). Kulutuksen mittapuulla PLA oli toiseksi tärkein biomuovi maailmassa vuonna 2010. (Wikipedia, 2014)

*Nimi "polymaitohappo" ei noudata IUPAC standardin mukaista nimikkeistöä ja on mahdollisesti moniselitteinen tai harhaanjohtava, koska PLA ei ole polyhappoa (polyelektrolyyttiä), vaan pikemminkin polyesteriä. (Wikipedia, 2013)



Kaavio 1 : PLA:n kemiallinen kaava

Kaavio1: Wikipedia,2014

3.2.1. PLA:n ominaisuudet (Ingeo PLA)TM

Ingeo PLA: INGENOTM is a trademark of NatureWorks LLC,
15305 Minnetonka Boulevard, Minnetonka, MN 55345-1512, USA

Polylaktidin edut:

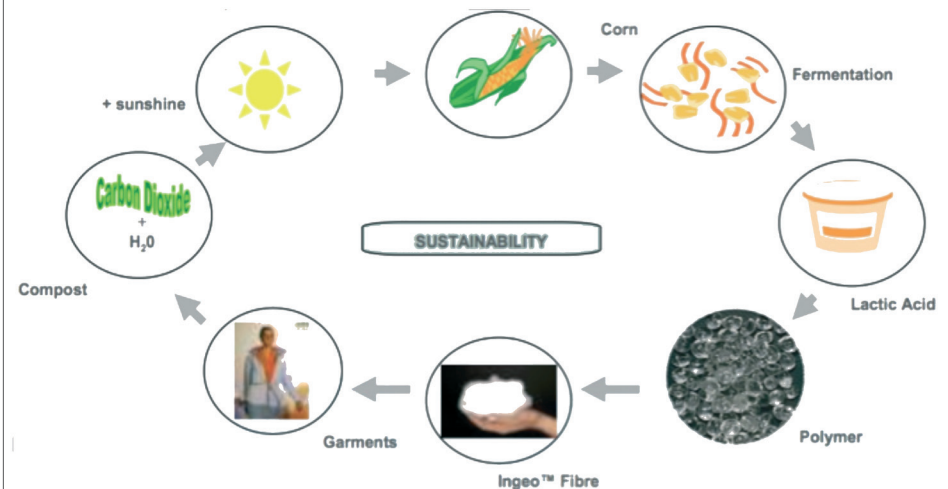
- kiilto, läpikuultavuus ja kirkkaus
- maun ja aromien sulkuominaisuudet
- hyvät happea eristävät ominaisuudet
- helposti muovattava, painettava ja kohopainettava
- kosteutta eristävät ominaisuudet (vaatteet, tekstiilit ja kuitu kankaille)
- hypoallergeeninen, PET-muovia paremmat hengitys- ja mukavuusominaisuudet, alhainen hajunpysyvyys (vaatteissa, tekstiileissä ja kuitukankaissa)
- jäykkyys, joka mahdollistaa aiempaa kevyempien pakkausmateriaalien valmistamisen
- niukka kutistuvuus
- EN 13432 -standardin mukainen kompostoitavuus*
- valmistusmateriaalit ovat peräisin täysin uusiutuvista lähteistä (Resinex Nordic AB/NatureWorks, luettu 2013)

*Vaikka PLA kuuluukin polyestereihin, sen valmistukseen ei käytetä uusiutumattomia polttoaineita ja se on täysin biohajoavaa. PLA:n kompostointi edellyttää kuitenkin teollisuuskäytössä olevia olosuhteita, koska se tarvitsee oikean lämpötilan ja kosteuden, jotta kuituaines alkaa kompostoitua. (Fletcher 2008, 27.)

PLA:n valmistus on varsin kallista ja vähäistä. Viimeaikoina kuidun tuotantoa on pyritty lisäämään suurien ympäristöoperaatioiden myötä, joissa on ollut mukana mm. NatureWorks LLC. PLA:n hinta on kuitenkin vielä noin kolme kertaa korkeampi kuin normaalin polyesterin. (Fletcher 2008, 28.)

PLA:n valmistuksen suosiota heikentää myös se, että raaka-aineen orgaanisuudesta ei ole varmuutta. Yhdysvallat, joka kuuluu PLA:n suurimpiin tuottajamaihin, tuottaa myös runsaasti geenimaniloituja maitseja eikä maan lain mukaan geenimaniloituja maitseja tarvitse eritellä erikseen. Tästä johtuen moni orgaanisia materiaaleja käyttävistä yrityksistä ei ole ottanut PLA:a valikoimiinsa. (Fletcher 2008, 27-28.)

The only synthetic fibre commercially available in bulk quantities, that is made entirely from annually renewable raw materials - not oil



Not only from nature - but also back to nature

Kuva 1 : Ei pelkästää luonnosta - vaan takaisin myös luontoon

Kuva 1. Nature Works LLC, 2014

3.2.2. PLA:n vertailu yleisimpiin tekstiilikuituihin

(Nylon 6 (PA6), PET, RAYON (VI), CO, SE ja WO) (Taulukko 2)

PLA:n etuja:

- PLA on ainoa luonnon polymeereihin pohjautuva kuitu, jota voidaan työstää sulatettaessa (lämpömuovautuva).
- PLA:lla on pienempi ominaispaino kuin luonnonkuiduilla.
- Lämmön avulla voidaan säädellä optista koostumusta ja sulamispisteessä saavutetaan materiaalin läpikuultavuus.
- PLA:lla on korkeampi murtolujuus.
- Sillä on hyvät kosteutta eristävät ominaisuudet.
- PLA:lla on korkea UV-suojakerroin.
- PLA:n alhainen taitekerroinindeksi mahdollistaa voimakkaiden värien aikaansaamisen värjäyksessä.
- Synteettisiin kuituihin verrattuna PLA:lla on erinomainen elastisuuden palautuskyky.

Polylaktidin heikkouksia:

- Huono alkalinkestävyys heikentää sen lujuusominaisuuksia värjäysprosesissa.
- Koska PLA:lla on alhainen sulamispiste, sen silityslämpötila on pidettävä alhaisena.
- PLA saattaa hajota tietyissä olosuhteissa biopohjaisuutensa vuoksi.

(Nature Works LLC, 2014; Resinex, 2013.)

Fiber Properties Comparison							
FIBER PROPERTY	NYLON 6	PET	PLA	RAYON	COTTON	SILK	WOOL
Specific Gravity	1.14	1.39	1.25	1.52	1.52	1.34	1.31
T _g (°C)	90	125	55 - 60	-	-	-	-
T _m (°C)	215	255	130 - 175	None	None	None	None
Tenacity (g/d)	5.5	2.4 - 7.0	2.0 - 6.0	2.5	4.0	4.0	1.6
Moisture Regain (%)	4.1	0.2 - 0.4	0.4 - 0.6	11	7.5	10	14 - 18
Elastic Recovery (5% strain)	89	65	93	32	52	52	69
Heat of Combustion (MJ/kg)	3.1	25 - 30	19	17	17	-	21
Flammability	Medium smoke; Melts	High smoke; Burns 6 min. after flame removed	Low smoke; Burns 2 min. after flame removed	Burns	Burns	Burns	Burns slowly; Self-extinguishing
LOI (%)	20 - 24	20 - 22	26 - 35	17 - 19	16 - 17	-	24 - 25
UV Resistance	Poor	Fair	Excellent	Poor	Fair - Poor	Fair - Poor	Fair
Refractive Index	1.52	1.54	1.35 - 1.45	1.52	1.53	1.54	1.54
Contact Angle (°)	70	82	76	-	-	-	-
Wicking (L-W slope higher slope, more wicking)	-	0.7 - 0.8 (no finish)	6.3 - 7.5 (no finish); 19 - 26 (with finish)	-	-	-	-

Taulukko 2 : Polyaktidi-kuidun vertailu yleisimpiin tekstiilikuituihin

Taulukko 2. Nature Works LLC, 2014

3.2.3. PLA:n sovelluskohteita

Tyypillisiä PLA:n sovelluskohteita:

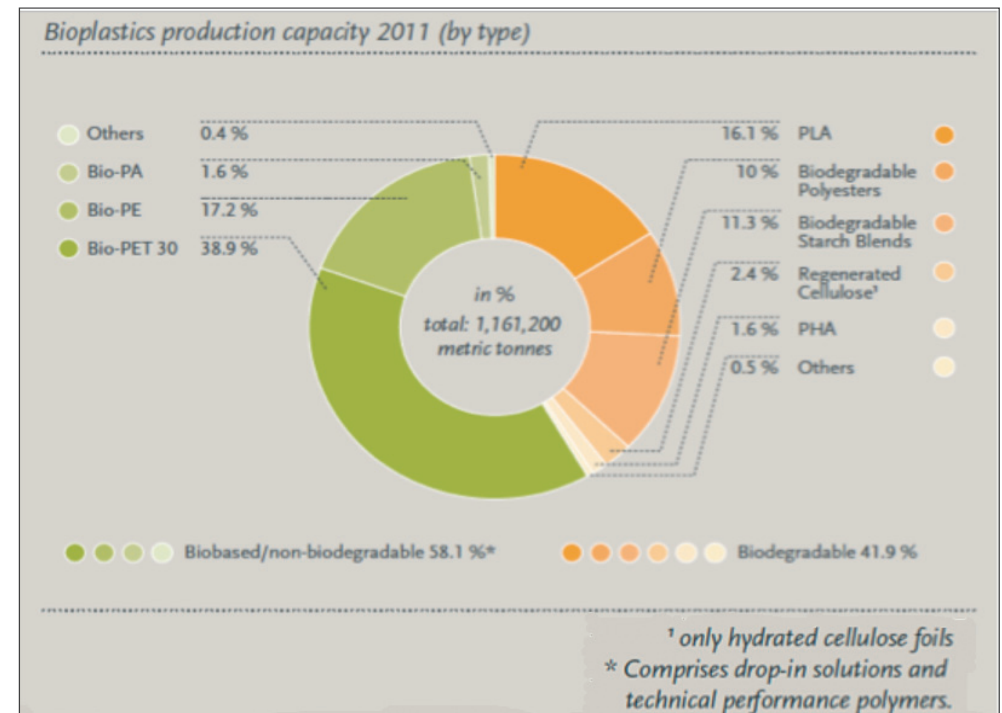
- kuituekstruusio: teepussit, vaatteet
- ruiskuvalu: CD-levyjen kotelot
- seokset: puun ja PMMA:n kanssa
- lämpömuovaus: pakkausrasiat, kahvitarjottimet, muki ja kahvi kapselit
- puhallusmuovaus: vesipullot (ei-karbonoidut), tuoremehu- ja kosmetiikkapullot. (Resinex Nordic AB, 2013.)

Biohajoavia materiaaleja käytetään jätteen vähentämiseksi muun muassa pakkaus- ja vaippateollisuudessa. Yksi käyttökohde on lääketiede: haavoihin ommeltavat tikit tehdään usein biohajoavalla langalla; biohajoavia ommelmateriaaleja on käytetty 1970-luvulta asti. Myös elimistössä liukenevia kiinnittimiä käytetään yhä enemmän murtumien ja osteotomioiden korjauksessa, luusiirteiden kiinnityksessä ja nivelten luudutuksissa. Lisäksi biohajoavilla kiinnittimillä korjataan revenneitä nivelsiteitä ja -kierukoita. Kiinnittimet valmistetaan yleisimmin poly-L-laktidista ja poly-L/DL-laktideista. (Wikipedia, 2013 ja Duodecim, 2004).

3.3. Biomuovit ja kestävä kehitys

Biohajoavien muovien markkinoita kasvattavat lisääntyvät ympäristösuojeluvaatimukset, jätteen käsittely ja kompostointi sekä biohajoavien materiaalien mahdollistamat uudet innovaatiot. (Tavani, 2013.)

Biomuovien tuotanto oli vuonna 2011 n. 0,4 % koko muovialan raaka-aineista, eli 1,1 miljoonaa tonnia vuosittain (Kaavio 2). Näistä biopohjaisten osuus on 58 % ja biohajoavien osuus 42 %. Biomuovien valmistaminen on tehokasta ja nykyisten määrien valmistamiseen tarvitaan ainoastaan 0,1% maailman viljelysmaista. (Muoviteollisuus ry, 2013; Nature Works LLC, 2014.)



Kaavio 2 : Biomuovien globaali tuotantokapasiteetti muovityypeittäin v. 2011

Kaavio 2. Nature Works LLC, 2014

Biomuovien todellinen hyöty on sovelluksissa, joissa biohajoavuus tai kompostoitavuus tarjoavat nille selkeää lisäarvoa. Biopohjaisuutta voidaan perustella ainoastaan silloin, kun raaka-aineita tuotetaan tehokkaasti eikä luontoa kuormiteta liikaa. Kuitenkaan biohajoavuus yksistään ei aina riitä kestävän kehityksen perusteeksi. Aikoinaan biohajoavana muovina lanseeratun PLA:n markkinoinnissa on pyritty nykyisin keskittymään koko arvoketjun vihreyteen. Näitä ovat sen valmistaminen uusiutuvasta raaka-aineesta, sen osittainen biotekninen valmistusprosessi ja soveltuvuus erilaisiin jätteenkäsittelyratkaisuihin. Biopohjaisia muoveja voidaan kierrättää kuten fossiilisia muoveja ja hyödyntää biokaasulaitoksissa tai teollisissa kompostoreissa, joissa on oikeat olosuhteet niiden hajoamiselle. (Muoviteollisuus ry, 2013. Härkönen, M. 2013)

Biomuovit eivät vielä täysin pysty kilpailemaan öljypohjaisten muovien kanssa. Siihen on useita syitä, mutta ehkä keskeisimpiä esteitä ovat biopohjaisen raaka-aineen hinta ja niiden tekniset ominaisuudet. Myös yksi ongelma on se, että biohajoavat muovit hajoavat meressä hyvin hitaasti. Tosin eräät valmistajat ovat julkaisseet tutkimustuloksia, joissa tietyt biomuovit hajoavat riittävän nopeasti vaarattomiksi aineiksi myös valtamerissä. Huolimatta siitä, että biomuovien käyttö on vielä varsin vähäistä esim. pakkauksissa, luo se kuitenkin pohjaa kehitystyölle ja piedemmän tähtäimen ratkaisuille. (Härkönen, M. 2013)

Biomuovien kestävän kehityksen argumenttina käytetään usein uusiutuvan raaka-aineen edullista hiilidioksidijalanjälkeä yhdessä jonkin toimivan kierrätysratkaisun kanssa. Biomuoveista suositetaan kasvattaakin biopohjaiset hajoamattomat muovit, joiden raaka-aineena on uusiutuva biomassa, mutta jotka ovat ominaisuuksiltaan, rakenteiltaan ja kierrättävyydeltään verrattavissa öljypohjaisiin vastineisiinsa. Tällaisia ovat esim. biopolyeteeni ja osittain biopohjainen PET. (Härkönen, M. 2013)

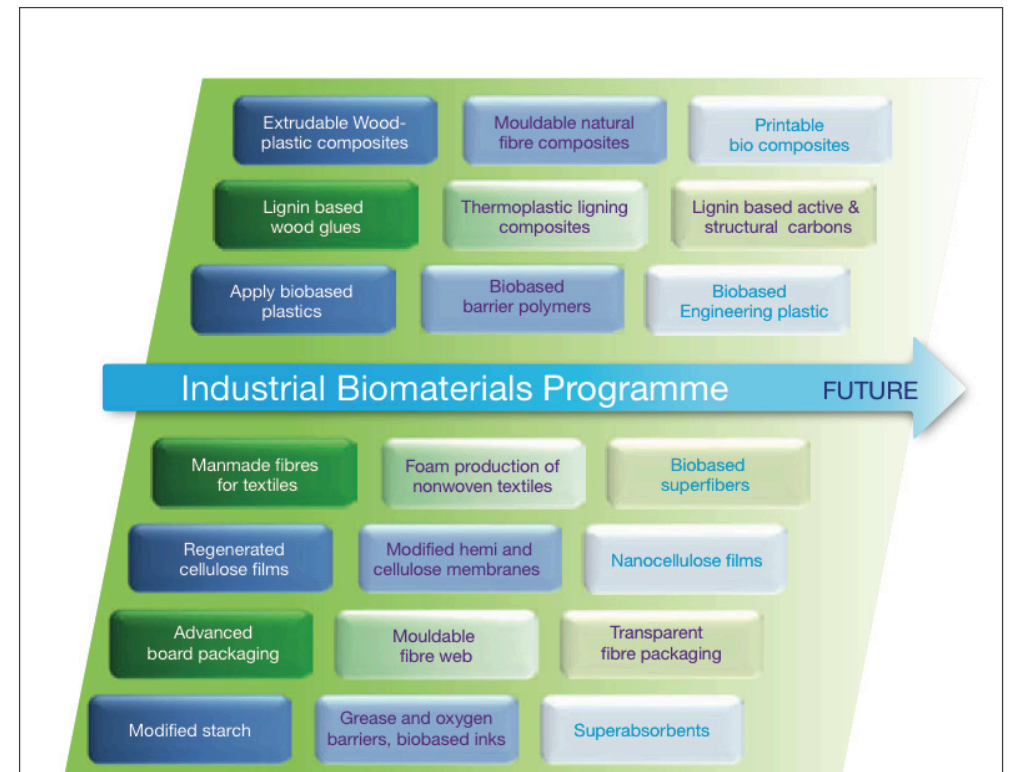
Biomuoveja kehitetään jatkuvasti ja ne suoriutuvatkin yhä useammissa käyttökohteissa jo yhtä hyvin kuin perinteiset muovit. Myös uusia tapoja valmistaa raaka-aineita kehitetään. Näihin kuuluvat esim. bioreaktorit, joissa fotosynteesin avulla levästä saatavaa biomassaa voidaan edelleen jalostaa muovin raaka-aineiksi ja jonka eduksi voidaan laskea se, ettei se kilpaile viljelysmaiden kanssa. Tämän suuntaiseen kehitykseen vaikuttavat suuret maailmanlaajuiset yritykset, jotka pyrkivät tuomaan lisäarvoa tuotemerkeilleen ympäristöystävällisestä imagosta ja näin ollen vaikuttavat myös biomuovien kasvuun. Sen pohjalta rakentuukin merkkituotteille biomuovien korkeampia hintoja kestävätkä markkinat, mikä taas edistää tutkimusta tuotantoteknologian alalla. (Muoviteollisuus ry, 2013. Härkönen, M. 2013)

Biomuovien sovellusalat lisääntyvät jatkuvasti. Biomuovien suurimmat käyttökohteen löytyvät tällä hetkellä:

- * Pakkausteollisuudesta
- * Ravitsemusalalta
- * Maa- ja metsätaloudesta
- * Viihde-elektroniikasta
- * Autoista
- * Kulutustuotteista ja kodinkoneista (<http://en.european-bioplastics.org/market/>)

Muita aloja, joille biomuovit ovat hyvää vauhtia tulossa ovat rakennustuotanto, kotitalous, vapaa-aika ja kuitumateriaalit (vaatetus, verhoilu). Tuotteita, joissa biomuovien käyttö kasvaa selvästi, ovat muun muassa pussit, ateriapalvelutuotteet, katemuovit (maataloudessa) sekä ruoka- ja juomapakkaukset. (TTY/Lähde: <http://en.european-bioplastics.org>)

Yleisesti ottaen biomuovit muodostavat osan biomateriaalien laajasta teknologisesta tutkimuksesta ja monitahoisesta kentästä, jota kuvaa Taulukko 3 VTT:n julkaisusata "Research highlights in industrial biomaterials 2009–2012". Julkaisu kokoa keskeisimmät havainnot ja keksinnöt VTT:n tekemästä tutkimusohjelmasta "the Industrial Biomaterial Spearhead Programme 2009–2012". (Harlin, Qvintus, Poppius-Levlin, Nättinen, Heikkilä, & Vähä-Nissi 2013, 6).



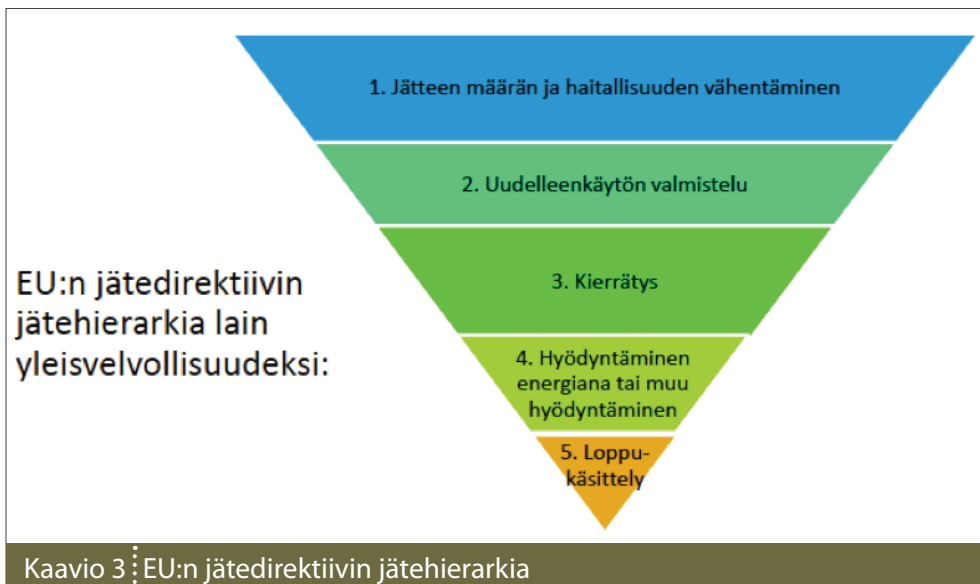
Taulukko 3 : Biomateriaalien erilaisia tutkimuskohteita

Taulukko 3. Harlin, ym. 2013, 6

Jätehierarkia

Muovien elinkaaritavoitteet EU:n jätehierarkiasta on määritelty EU:n strategiassa.

- Sen avulla pyritään tehostamaan materiaalien käyttöä ja vähentämään syntyviä jätevirtoja.
- Suomen jätelainsäädännössä etusijajärjestys. Tavoite sitoo Suomea EU:n jäsenvaltiona.
- Tavoitteena on, että mahdollisimman vähän jätettä päätyisi lopulta kaatopaikoille. (Lehtiniemi, Päivi 2014)



Kaavio 3. Ympäristöministeriö, 2013

Materiaalikokeiluissani käytän myös Biolace® Saimaa- ja Vanaja-kuitukankaita, joissa polylaktidin osuus on 35 % puuvillan ja puuvilla/viskoosin lisäksi. Kuitukankaan käyttö on mielekästä siksi, että sen valmistusprosessi on huomattavasti lyhyempi kuin perinteisten kankaiden ja neulosten. Energiatohokkuuden ja kestävä kehityksen kannalta pidän tärkeänä sitä, että valmiiksi muokatuista kuitumateriaaleista voidaan valmistaa suoraan kuitukankaita. Näin lankojen valmistusprosessi jää pois eikä kudontaa tai neulomista tarvita lainkaan.

4.1 Kuitukankaan valmistus

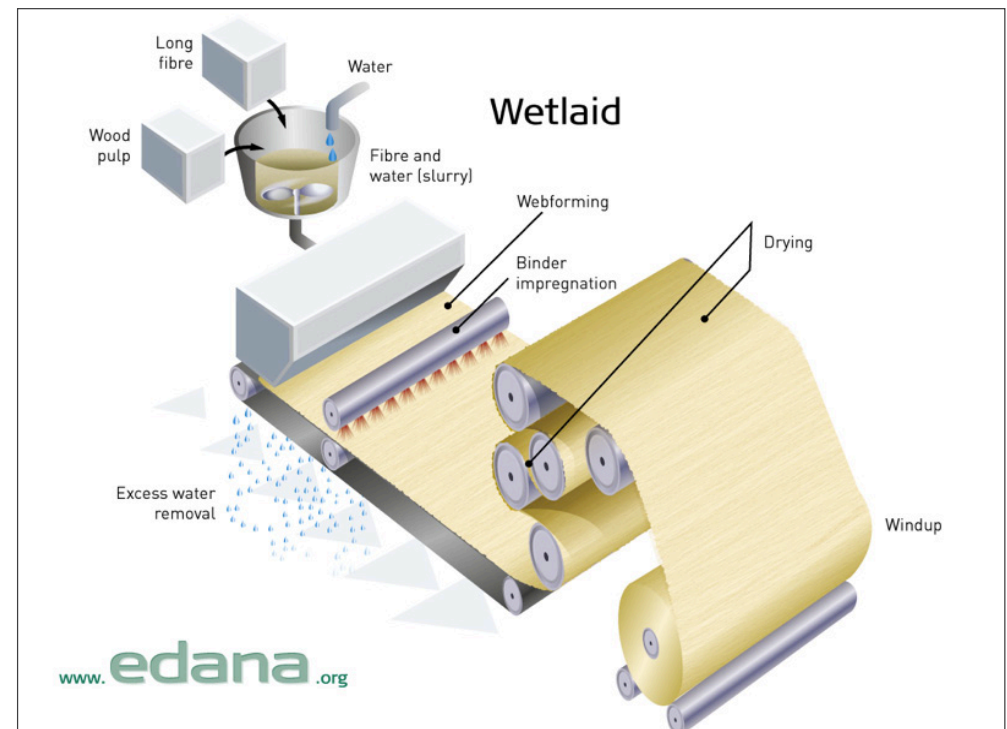
Kuitukankaita voidaan valmistaa monella eri menetelmällä, mutta yleensä aluksi muodostetaan kuiduista tasomainen kuituharso eli kuituraina ja sen jälkeen tämä sidotaan eli kuidut kiinnitetään toisiinsa. Kuidut voivat olla katkokuituja tai pitkiä filamentteja, jotka on suulakepuristettu sulatetuista polymeerirakeista. Kuituharso on hyvin haurasta ennen sitomista, lukuun ottamatta kehrumenetelmällä (Spunlaid) valmistettavaa kuitukangasta. (Talvenmaa, s. 34, Edana, 2012.D.)

Kuiturainan muodostaminen

Kuiturainan muodostamiseen voidaan käyttää erilaisia tekniikoita:

- * Märkämenetelmä (Wetlaid-kuitukankaat), jossa kuitumatto muodostetaan kuitu-vesi-dispersiosta (kuva 2)
- * Kuivamenetelmä (Drylaid-kuitukankaat), jossa kuituharso muodostetaan karstaamalla tai ilmvirran avulla
- * Kehruumenetelmä (Spunlaid-kuitukankaat) (Talvenmaa Päivi, s.34)

Kuidut voidaan sitoa toisiinsa mekaanisesti, fysikaalisesti, kemiallisesti tai käyttämällä useaa menetelmää samanaikaisesti. Kiinnitys voi tapahtua erilaisilla menetelmillä, mutta ei kuitenkaan kutomalla, neulomalla tai ompelamalla. Nykyaikainen teknologia mahdollistaa päällekkäisten vaiheiden tapahtuvan samanaikaisesti, ja joissakin tapauksissa jopa kolme vaihetta voi tapahtua yhtä aikaa. (Talvenmaa, s.34 ja Edana, 2012.C)



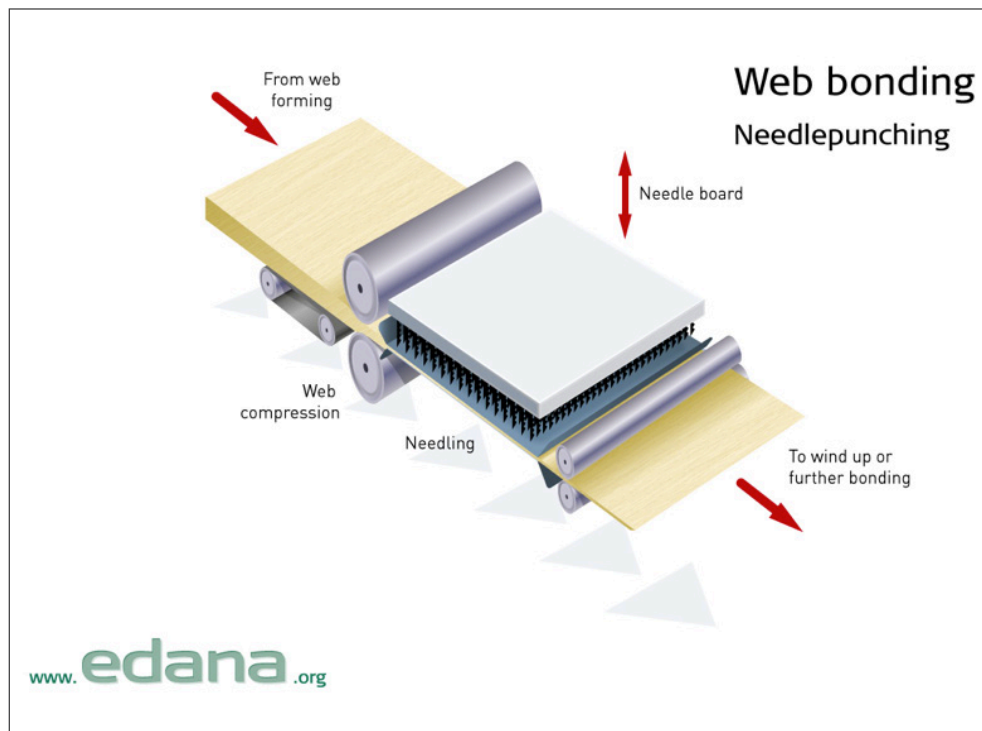
Kuva 2 Märkämenetelmä kuiturainan muodostamisessa

Kuva 2. Edana, 2012. D

Sidontamenetelmiä (web bondings)

- Kemiallinen (Chemical)
- Lämpökäsitelty (Thermal)
- Mekaaninen kuten hydro-sidonta, tikkisidonta tai neulaus (Kuva 3)
 - Muut tekniikat: esim.
 - * Sähköstaatinen kehruu (electrostatic spinning)
 - * Pikakehräys (Flash spun) (Talvenmaa, s.34, Edana, 2012.C)

Eri tekniikoiden ja raaka-aineiden yhdisteleminen luo vaihtoehtoja sekä kuitukankaita valmistavalle teollisuudelle että tuotteille. Näin voidaan valmistaa kuitukankaita, joilla on erityisiä ominaisuuksia, ja jotka soveltuvat tiettyihin käyttötarkoituksiin. (Edana, 2012. C)



Kuva 3 : Kuiturainan mekaaninen sidonta neulaamalla

Kuva 3. Edana, 2012. E

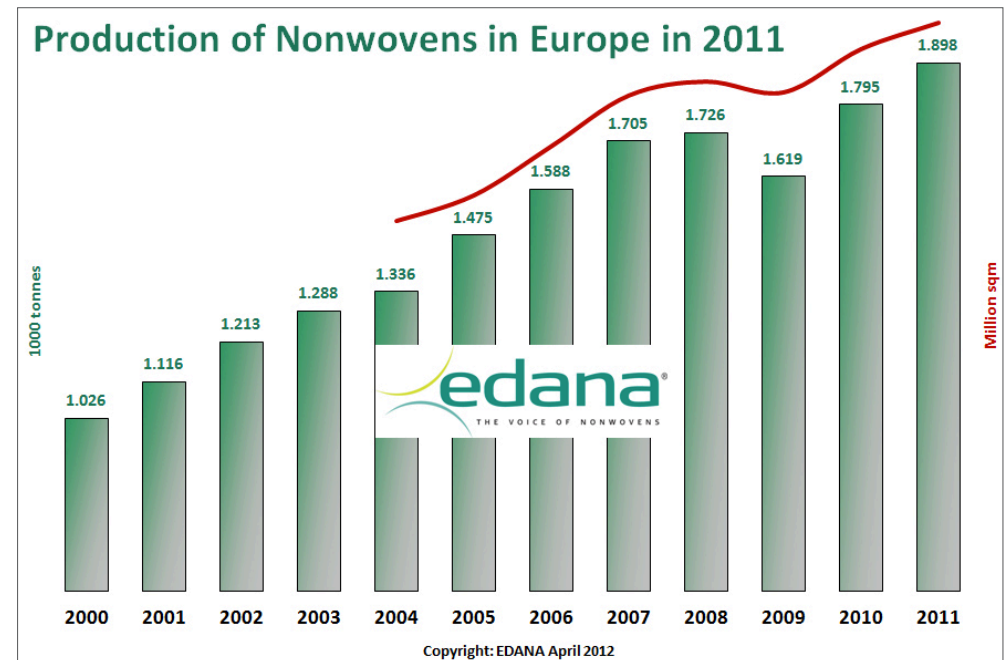
4.2. Kuitukankaiden tuotanto

Kuitukankaiden ja nonwoven-tuotteiden tuotanto on kasvanut ja käyttö-alueet laajentuneet jatkuvasti 70-luvulta lähtien. Maailman kuitukangastuotanto oli vuonna 1996 n. 3 miljoonaa tonnia, ja Edana-Indan tekemän ennusteen mukaan tulee maailman kuitukangastuotanto saavuttamaan 10 miljoonan tonnin rajan vuonna 2016. (Talvenmaa, P. 1998. s. 34; Edana. 2012.A.)

Euroopassa erilaisia kuitukankaita valmistettiin noin 1,9 miljoonaa tonnia vuonna 2011. Kuitukankaiden maailmanlaajuisten markkinoiden ennustetaan jatkavan voimakasta kasvua lähivuosina. Hygienia-, terveys- ja siivoustuotteiden lisäksi kuitukankaiden sovelluksia käytetään muun muassa rakennusteollisuudessa. (VTT Uutiset/13.3.2013)

Kuitukankaan tuotanto Edanan –raportin mukaan (kaavio 4):

- Noin 1,898 miljoonaa tonnia kuitukangasta (rullatavarana) tuotettiin vuonna 2011 Euroopassa
- vuonna 2011 kasvu oli määrällisesti verrattuna 5,7 % vuoteen 2010 (10,9 %:n kasvu 2010 vs. 2009)
- Arvioitu kokonaisliikevaihto Euroopan kuitukangasteollisuudessa (rullatavara) on noin € 6,218 miljoonaa



Kaavio 4: Kuitukankaan tuotanto Euroopassa v. 2011

Kaavio 4. Edana, 2012. B

4.3 Kuitukankaat ja kestävä kehitys

Kuitukankaisiin liittyvä teollisuus kuuluu yhteen merkittävimmistä kestävä kehityksen toimialoista Euroopassa ja se on myös yksi edelläkävijöistä ympäristöjärjestelmien käytössä. Se valmistaa yhteiskunnalle keskeisiä

kulutustavaroita ja vaikuttaa merkittävästi taloudelliseen hyvinvointiin sekä kilpailukykyyn. Teollisuus pyrkii löytämään yhä tehokkaampia ratkaisuja resurssien käytössä, jotta sen ympäristövaikutukset olisivat mahdollisimman pienet ja se vastaisi yhteiskunnan tarpeeseen edistää kestävä kehitystä. Teollisuuden tavoitteena on edistää tätä kehitystä myös läpi koko toimitusketju . (Edana, 2012. F) .



Kaavio 5 Sustainability throughout the supply chain

Kaavio 5. Edana 2012 F

Kuitukankaiden visio 2020: kuitukankaat myös tulevaisuudessa

Kansainvälisenä järjestönä Edana palvelee kuitukankaiden ja siihen liittyvän teollisuuden tavoitteita ja on sitoutunut auttamaan jäseniään niiden suunnittelussa. Osana tätä jatkuvaa prosessia Edana ja valitut alan asiantuntijat ovat yhdistäneet kokemuksiaan ja näkemyksiään suunnata katseensa tulevaisuuteen. (Edana, 2012.F)

EDANA on työskennellyt mm. Kööpenhaminan Institute for Futures Studiesin (CIFS) kanssa ja pyytänyt sitä arvioimaan megatrendit, jotka todennäköisesti tulevat vaikuttamaan globaalisti ja käyttämään arvioita tunnistamaan suuntauksia kuitukangasteollisuudessa. (Edana, 2012.F)

Raportissa keskitytään kolmeen keskeiseen teemaan: globalisaatio, kestävä kehitys ja innovaatio. Nämä kolme vaikuttavat muutoksiin koko arvoketjussa raaka-aineista valmiisiin tuotteisiin. Selvää on kuitenkin se, että kuitukankaat ovat arvokkaampia kuin koskaan. Ne auttavat parantamaan ja suojelemaan sekä ihmisiä että ympäristöä. Kuitukangasteollisuudella on potentiaalia tuottaa globaaleja innovatiivisia ratkaisuja ja vastata kestävä kehityksen haasteisiin. (Edana, 2012.F)

Kuitukankaan uusia käyttömahdollisuuksia

Kuitukankaita käytetään usein kertakäyttötuohteissa. Kertakäyttöimagostaan huolimatta kuitukankaissa minua kiinnostaa niiden nopea ja energiatehokas valmistusmenetelmä verrattuna esim. kudontaan ja neulomiseen eri vaiheineen. Kaikki kehitys, jossa kuitukankaisiin yhdistetään biohajoavia tai uusiutuvia materiaaleja on mielestäni aina edistystä ympäristömyötäistä tuotteistamista ajatellen. Kuitukankaiden valmistaminen biohajoavista materiaaleista vie tätä kehitystä vielä parempaan suuntaan.

Kuitukankaiden oikein valituilla teknisillä ominaisuuksilla ja biohajoavilla kuitumateriaaleilla voitaisiin säästää joidenkin kankaiden valmistusprosessiin käytettävää energiaa ja ympäristöä. Kuitukankaiden kertakäyttöimagoon voisi hyvin liittää varsinkin nuorisomuodin nopeasti vaihtuvat trendit. En tarkoita tällä sitä, että useita vuosia kestäviä tuotteita ei pitäisi valmistaa, vaan lähinnä sitä, että huomioidaan kuluttajakäyttäytymisen ilmiö vaate- ja asusteteollisuudessa. Osa ihmisistä ostaa vaatteitaan muodin nopeasti vaihtuvan syklin mukaan heittäen täysin käyttökelpoisia vaatteita jätteiden joukkoon. Ajatus "puolikestävästä" vaatteista tai asusteista, jossa biohajoavat materiaalit yhdistettynä kuitukangasmaiseen valmistukseen, olisi yksi vaihtoehto vaatetusteollisuudelle varsinkin, jos kohderyhmä tai tuoteryhmä olisi oikein valittu.

Nopeasyklisten trendivaatteiden lisäksi myös lisääntyneen matkustelun myötä voisi hyödyntää tätä "puolikestävää" tuotteistusta. Osan käytettävistä vaatteista tai asusteista voisi ostaa edullisesti matkakohteesta ja jättää ne myös sinne. Vaikka tämä ajatus on hiukan kaukaa haettu, voisi pohtia sitäkin, että matkalaukkujen edestakainen kuljettaminen itsessään jo kuluttaa energiaa.

Mielestäni voitaisiin myös asettaa tavoitteeksi etsiä, kehittää ja hyödyntää kuitukankaiden valmistusprosessiin liittyviä ratkaisuja osaksi kudontaa, neulontaa tai langan valmistusta. Kuhunkin valmistusprosessiin niitä voisi yhdistää joko yksin tai yhdessä osana kestävä kehityksen tahtotilaa. Myös tuotteistuksessa voisi yhdistää kestävien ja "puolikestävien" osien yhdistelmää kuten esim. sohvan takaosaan voisi lisätä kuitukangaspohjaisen materiaalin, jonka struktuuri ja väritys jäljittelee sohvan etupuolen kulutusta kestävämpää materiaalia.

5.1. Kuitukankaat, PLA- ja villakuitu

Käytän materiaalikokeiluissani Suomen lampaan villaa, merinovillaa sekä Suominen Yhtymä Oy:ltä saamiani uusiutuvista raaka-aineista valmistettu- ja Biolace® -kuitukankaita (kuva 4), joissa polylaktidin osuus on 35 % sekä PLA-kuitukangasta (kuva 5) ja PLA-katkokuitua (kuva 6).

biolace®



Biolace Saimaa

- - 35% Ingeo™ Polylactide (PLA), 50% viscose, 15% cotton
- Viscose = man-made cellulose fibre
- - 47 - 55 gsm
- - hydroembossed dot pattern
- - contains annually renewable raw material



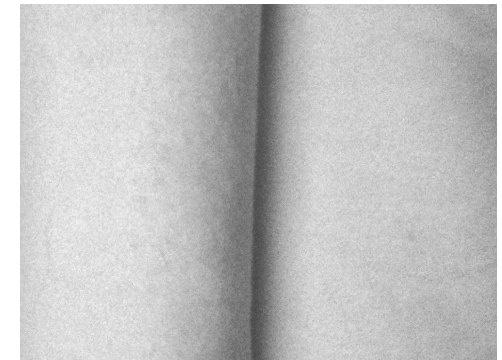
Biolace Vanaja

- - 35% Ingeo™ Polylactide (PLA), 65% viscose
- - 40 - 55 gsm
- - smooth surface
- - contains annually renewable raw material

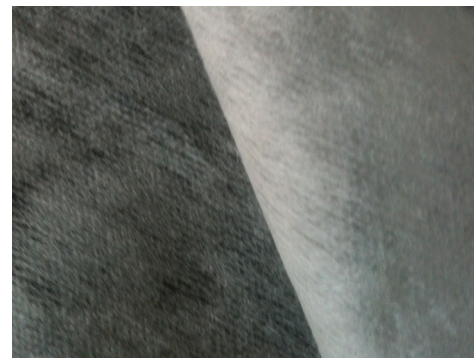


PLA-kuitu Ingeo®

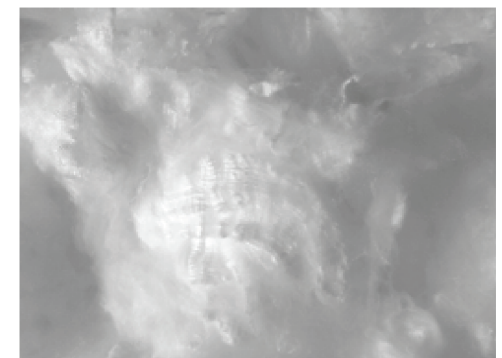
Natureworksin Ingeo®-tuotenimellä valmistama PLA on biopolymeeri, jota valmistetaan uusiutuvista luonnonvaroista. Sitä valmistetaan polyme-roimalla maitohappoa, jota tuotetaan fermentoimalla kasveista saatavia sokereita. (Resinex Nordic, 2013. A.)



Kuva 4 : Saimaa- ja Vanaja-kuituk.



Kuva 5 : 100 % PLA kuitukangas



Kuva 6 : 100 % katkokuitu

5.2. Biokomposiitin materiaalit

Käytän materiaalikokeilussani myös PLA-pohjaisia biokomposiitteja. Ne ovat komposiitteja, joissa ainakin toinen ainesosa on biopohjainen. Luonnonkuitukomposiitit vaativat matriisiaineen eli synteettisen tai luonnonpolymeerin materiaalille. Näitä matriisimuoveja voivat olla esimerkiksi polyolefiinit (PP eli polypropeeni tai PE eli polyeteeni), polyamidi, PVC (polyvinyyliklodridi), biohajoavat muovit (PLA), epoksi-, polyesteri- ja fenolikertamuovit sekä teoriassa ligniini, joka toimii kasveissa ja puissa luontaisena matriisina kuiduille. (Nilsson 2013; Parjanen & Anderson 2009, 7 ja 54)

Käyttämäni materiaalit biokomposiitissa:

Matriisi: biohajoava matriisi; polylaktidi (PLA)

Lujitekuitu: uusiutuva tekstiilikuitu villa (merinovilla tai suomenlampaan villa)

Käytän materiaalikokeiluissa myös Biolace-kuitukankaita, joissa materiaaleina ovat PLA, puuvilla ja/tai viskoosi.

Luonnonkuitupohjaisissa kestopuovikomposiiteissa on matriisin ja kuidun suhde välillä 10/90–80/20 %, ja yleisimmät tutkimuksessa ja käytössä olevat luonnonkuidut ovat puu- ja peltokuituja, ja käytetyimmät matriisit taas ovat polypropeeni, polyeteeni, polyamidi, polyvinyylikloridi ja polystyreeni. (Parjanen & Anderson 2009, 7)

6. Biokompostiittien tarveselvitys ja käyttösovelluksia

6.1. Luonnonkuitukomposiittien tarveselvitys

Jukka-Pekka Parjanen ja Mirja Anderson ovat vuonna 2009 laatineet luonnonkuitukomposiittien tarveselvityksen osana Kokkolan seudun osaamiskeskuksen tutkimustoimintaa. Sen tavoitteena oli selvittää luonnonkuitukomposiittien käytötarvetta erilaisissa tuotteissa. Sen lisäksi siihen kuului kartoittaa markkinoilla olevien tuotteiden määriä ja ominaisuuksia sekä selvittää mahdollisia tuotelinjoja, joissa voitaisiin korvata erilaisia materiaaleja mahdollisuuksien mukaan.

Kartoituksen pohjalta markkinoilla on nykyisin useita luonnonkuitutuotteita ja -komposiitteja niin Euroopassa, Aasiassa kuin Yhdysvalloissakin. Tulevaisuuden kannalta merkittävimmiksi kohderyhmiksi nousivat rakennus- ja autoteollisuuden tuotteet sekä kulutustarvikkeet ja logistiikka. Myös huonekalujen valmistaminen erilaisista luonnonkuitukomposiiteista on kasvussa ja kehitystä tapahtuu myös erilaisten kulutustuotteiden kuten astiastojen ja elektroniikan kuorien osalta sekä pakkausteollisuudessa. (Parjanen & Anderson 2009, 54-55)

Tarveselvityksen tulosten mukaan mahdollisia biokomposiiteilla korvattavissa olevia tuotteita voisivat olla esimerkiksi pakkaus-, eristys-, rakennus-, ja autopuolella olevat ruiskuvalettavat tuotteet sekä erilaisista luonnonkuitukomposiiteista tehtävät muotiin puristettavat levyt ym. tuotteet. Myös kulutustarvikkeiden osalta korvattavissa olevia tuotteita voisi valmistaa enemmän, jos materiaalien käyttö- ja työstöominaisuuksia saataisiin lähemmäksi olemassa olevien öjypohjaisten muovien kaltaisiksi. (Parjanen & Anderson 2009, 56)

Muutoksia autoteollisuudessa kuvaa esimerkiksi tavoitteet romuautojen hyötykäyttövaatimusten suhteen (Grönholm 2010,10):

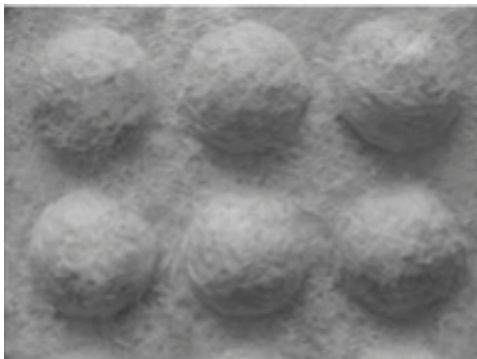
Vuonna 2006 -	Uudelleenkäyttö ja hyötykäyttö > 85 % (uudelleenkäyttö ja kierrätys vähintään 80 %, energian hyödyntäminen enintään 5 %) - Loppusijoittaminen kaatopaikalle < 15 %
Vuonna 2015 -	Uudelleenkäyttö ja hyötykäyttö > 95 % (uudelleenkäyttö ja kierrätys vähintään 85 %, energian hyödyntäminen enintään 10 %) - Loppusijoittaminen kaatopaikalle < 5 %

Hyödyntämistavoitteita ja niiden toteutumista valvoo Euroopan Komissio. Tavoitteisiin odotetaan parannusta uusien jätteenpolttolaitosten myötä, jolloin romuautojen muovi- ja kevytmateriaaleja voidaan aiempaa enemmän hyödyntää energiana. Myös parantamista on mm. lasin ja isojen muoviosien talteenotossa ennen murskausta. (Grönholm 2010, 10)

6.2. PLA-pohjaisten komposiittien käyttösovelluksia

Kuvat 7, 8 ja 9. Taiteen tohtori Tiina Härkäsalmi ja Tampereen teknillisen yliopiston opiskelija Kirsi Turto ovat tehneet prototyypin akustisesta paneelista, jossa materiaalina on käytetty pellavansiemenkuitua ja PLA-biokomposiitti (kuvat 7 ja 8). Paneelissa on kaksi kerrosta: värikäs päällyso (70 % PLA/30 % pellava) ja sisäosa (95% PLA/5 % pellava).

(Härkäsalmi & Turto 2010, 715)



Kuva 7 : Paneelivaihtoehto



Kuva 8 : Paneelivaihtoehto

Paneelin kehykseen voi kiinnittää erilaisia akustisia pintalevyjä sisustuksen tai mieltymyksen mukaan. (Kuva 9.)

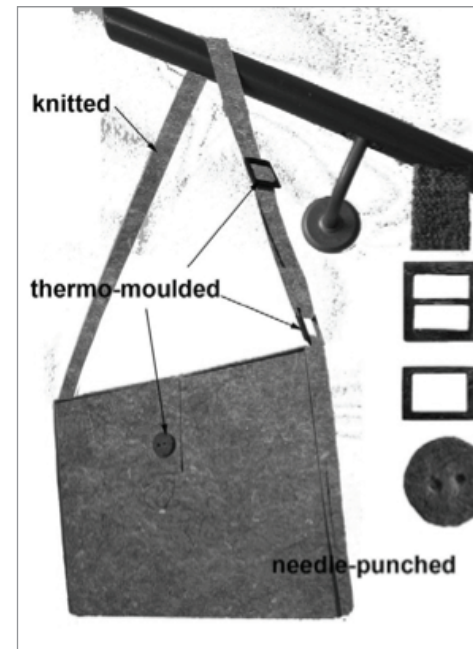


Kuva 9 : Paneelin kehys

Kuvat 7, 8 ja 9. Härkäsalmi ym., 2010, s. 715

Kuva 10. Proto biohajoavasta laukusta, jossa materiaalina on käytetty pellava/PLA-komposiittia. (Härkäsalmi & Turto 2010, 716)

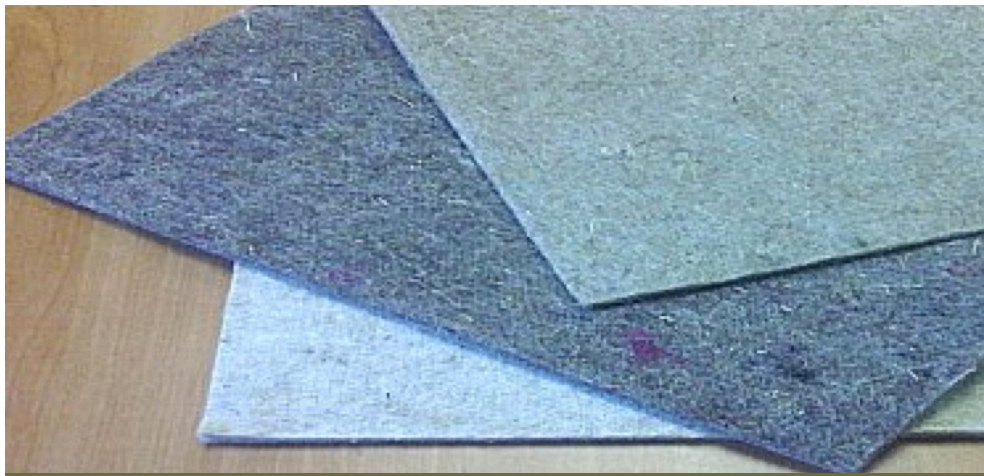
Proton materiaali on värjättyä pellavansiemen- (50%) ja PLA-kuitua (50%). Kuidut on sekoitettu, karstattu ja neulattu. Sen jälkeen huopalevy on lämpömuovattu laukun muotoon. Laukun nappi ja solki ovat myös lämpömuovattua biokomposiittia (70% PLA ja 30 % pellavansiemenkuitu). Härkäsalmi & Turto 2010, 716)



Kuva 10 : Saimaa- ja Vanaja-kuituk.

Kuva 10. Härkäsalmi ym., 2010, s. 716

Kuva 11. FibriPlast on Ecotechlinin LTD:n valikoimassa oleva kuituhuopa, joka sopii erityisesti puristusmuovaukseen. Materiaali koostuu vahvistetusta komposiitista (luonnonkuitu tai lasikuitu/PP, PLA tai PA). Kuituhuopa soveltuu mm. autojen sisäosiin kuten ovipaneeleihin. (Ecotechlinin Ltd, 2014)



Kuva 11 : FibriPlast-kuituhuopa

Kuva 11. Ecotechlinin Ltd, 2014

Kuva 12. Papcorn ruokailusarja, joka on valmistettu PLA-tärkkelyskuitu-komposiitista. Valmistaja: Papcorn, Tanska. (VIA Growing materials Exhibition, 2009)

Kuva 13. Ekotii. Materiaaliin on käytetty Karelinen puumuovikomposiittia (hamppu/sellu sekä PLA). Valmistaja Kruunutekniikka. (Ekotii 2014)



Kuva 12. : Papcorn- ruokailusarja



Kuva 13 : Ekotii

Kuva 14. Kulpika eräjuoma-astian valmistukseen on käytetty Liquid wood Kareline® -tuotemerkillä markkinoitua materiaalia, johon on käytetty mäntykuitua ja PLA:a. Tuotteen valmistaja: Joensuun Meskari Oy. (Kupilka, 2014)



Kuva 14 : Popcorn- ruokailusarja

Kuva 15. Ekologisen COMPOS malliston istuimet valmistetaan suomalaisesta pellavasta ja maissisokerista polymeroidusta luonnonkuidusta. Materiaali on 100% biohajoavaa eikä sisällä lainkaan öljypohjaisia aineita. Teräsrunko on puolestaan pintakäsitelty ympäristöä vähemmän kuormittavalla uudella eco-kromilla. Design Samuli Naamanka. (Piiroinen Oy, 2014)



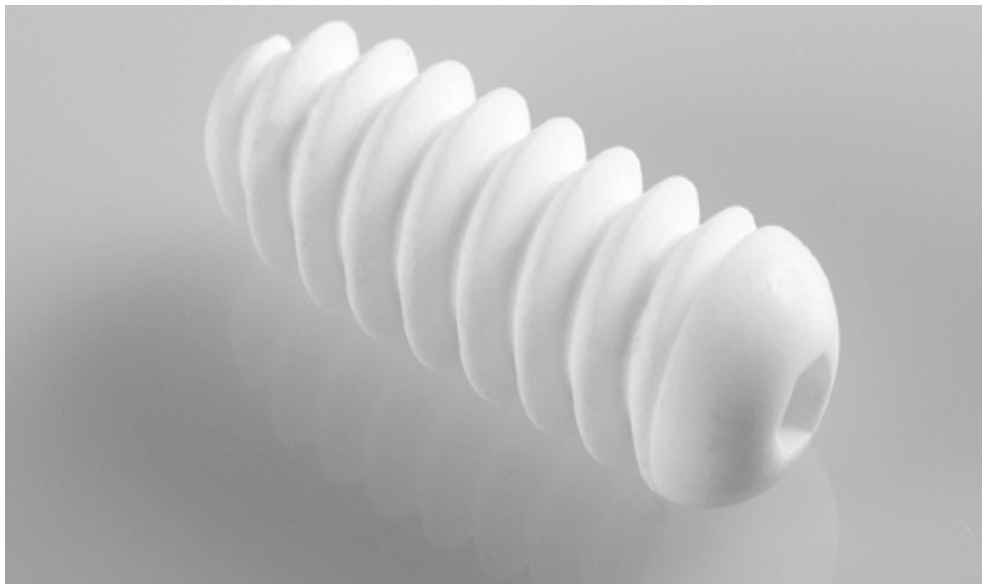
Kuva 15 : Compos-malliston tuoli

Kuvat 16 ja 17. Diamond- sohvapöytä on koottu biokomposiitti-paneeleista, joissa materiaalina on korkki, pellava ja PLA. Pöytä voidaan purkaa täysin ja korkki tekee siitä erittäin kevyen ja jäykän. (Les m studio, 2014)



Kuvat 16 ja 17 : Diamond -kahvipöytä

Kuva 18. EUROSCREW TCP on valmistettu komposiitista, jonka materiaali-koostumus on 70% PLA/30% TCP (trikalsiumfosfaatti). Komposiitin erityinen koostumus tekee ruuvista erittäin kestävän. (Teknimed, 2014)



Kuva 18 : Euroscrew TCP

Kuva 19. Nytexin kupit on valmistettu 100 % PLA:sta. (Nytex Composites Co., Ltd, 2014)



Kuva 19 : Nytexin kupit



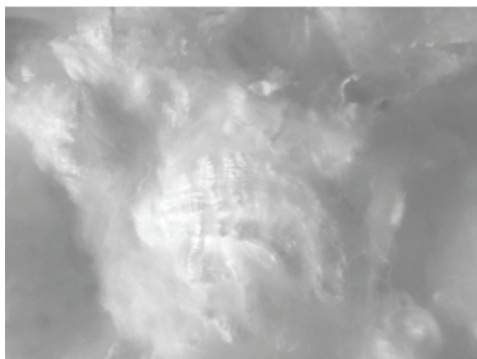
materiaalikokeilut

tämä osio käsittelee materiaalikokeilujeni esivalmisteluja sekä menetelmiä (luvut 7 ja 8). Esivalmisteluihin kuuluvat mm. PLA- ja villakuitujen yhdistäminen karsaamalla eri sekoitussuhteissa sekä kuitukankaiden ja PLA-kuitujen värjääminen. Luku 8 sisältää materiaalikokeiluihini liittyviä menetelmiä prosesseineen.

7.1. Karstaus

PLA:n esikarstaus: Käytössäni olleet PLA-katkokuidut olivat osittain takertuneina toisiinsa (kuva 20). Tavoitteeni oli saada PLA- ja villakuidut sekoittumaan mahdollisimman tasaisesti keskenään, joten tein PLA-kuiduille ns. esikarstauksen irrottaakseni toisiinsa takertuneet kuidut toisistaan (kuva 21).

PLA- ja villakuidun sekoittaminen karstaamalla (kuvat 22, 23 ja 24).



Kuva 20 : PLA-kuitu ennen karstausta



Kuva 21 : Karstattu PLA-kuita



Kuva 23 : Karstaus



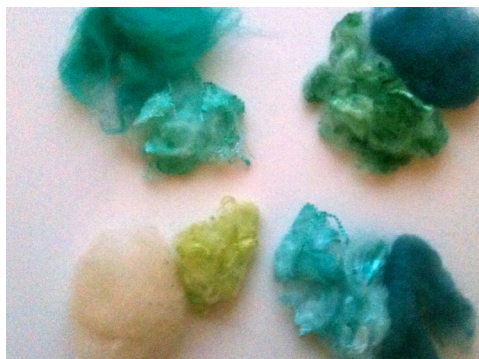
Kuva 22 : Ennen karstausta



Kuva 24 : Karstauksen jälkeen

Villakuitu ja musteella värjätty PLA-kuitu ennen karstausta (kuva 25).

Karstaamalla yhdisteyt PLA-kuitu sekä villakuitu (kuva 26).



Kuva 25: Ennen karstausta



Kuva 26: Karstauksen jälkeen

7.2. Karstatun materiaalin tiivistäminen silittämällä

Silitin karstatun PLA- ja villakuitumateriaalin levyksi, jotta materiaalin käsittely olisi helpompaa ennen tyhjiömuovausta tai alipainepuristimen käyttöä. Näin sain tasaisemman määrän materiaalia koko muokattavalle alueelle (kuva 27). Kuumennuksen yhteydessä PLA muuttuu kirkkaaksi villakuituun sekoitettuna.

Koska PLA sulaa silityksen yhteydessä, käytin leivinpaperia materiaalin alla ja päällä (kuva 28). Kun en ollut sekottanut PLA:ta muuhun lujitekuituun, säilytti se valkoisen värinsä silitettyäni sitä (kuva 29).



Kuva 27: PLA- ja villakuitumateriaali



Kuva 28: Materiaalin silittäminen



Kuva 29: Silitetty PLA-kuitu

7.3. PLA/villa-komposiittimateriaalien eri sekoitussuhteet

Koska eri sekoitussuhteet vaikuttavat materiaalien kovuuteen tai pehmeyteen, tein erilaisia PLA/villa-sekoitussuhteita selvittääkseni komposiittimateriaalien tuntua ja mahdollisia käyttötarkoituksia.

PLA:n suhteellisen määrän kasvaessa lisääntyy materiaalien kovuus asteittain. Kun PLA:n osuus on 70 % tai enemmän, voi materiaalia kutsua jo kovahkoksi tai kovaksi (kuvat 34-36). Yhdistelmämaterialleissa PLA muuttuu läpikuultavaksi kuumennuksen yhteydessä. Villa kesti hyvin kuumennusta, eikä huomannut siinä erityisiä taktiilisia tai ulkonäöllisiä muutoksia. (kuvat 30-37)



Kuva 30 : 20% PLA / 80% WO



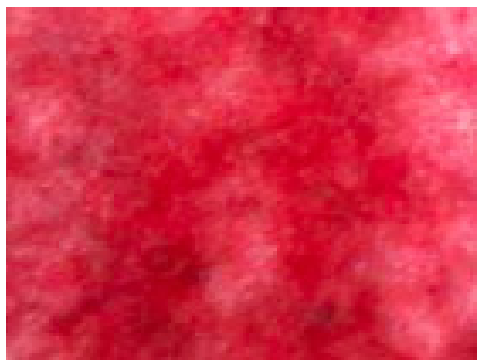
Kuva 31 : 30% PLA / 70% WO



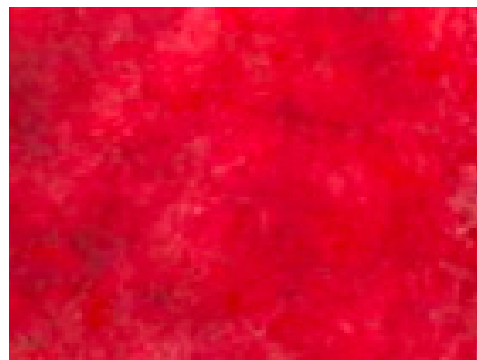
Kuva 32 : 40% PLA / 60% WO



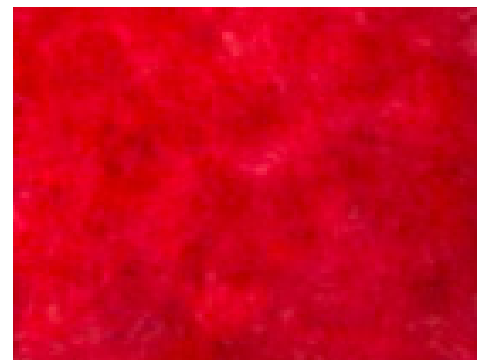
Kuva 33 : 50% PLA / 50% WO



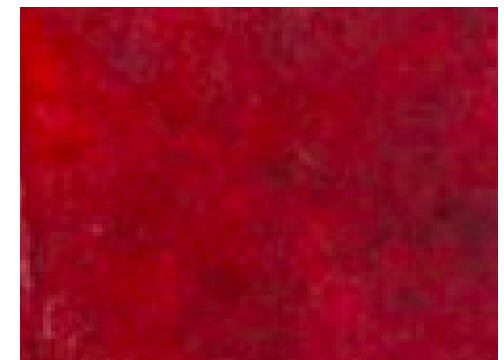
Kuva 34 : 90% PLA / 10% WO



Kuva 35 : 80% PLA / 20% WO



Kuva 36 : 70% PLA / 30% WO

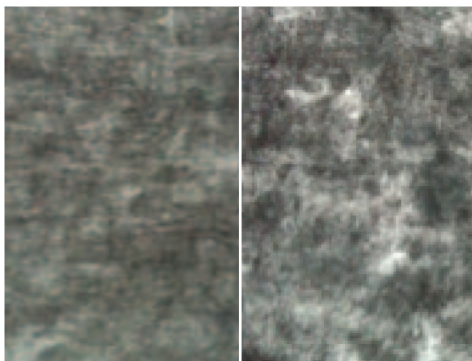


Kuva 37 : 60% PLA / 40% WO

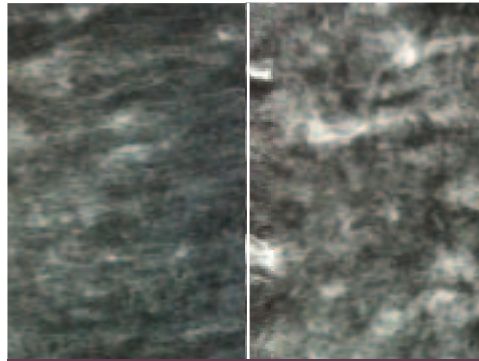
7.4. Värjäys ja kankaanpainanta

7.4.1. Värjäys Remazol-reaktiiviväreillä

Värjäsin Remazol-reaktiiviväreillä kuitukankaat Saimaan (35% PLA/50% VI/15% CO) ja Vanajan (35% PLA/ 65% VI) (kuvat 38 ja 39). PLA ei värjäydy selluloosan värjäykseen soveltuvilla reaktiiviväreillä, mikä näkyy selvemmin kuitukankaiden toisella puolella, jossa PLA:ta on enemmän. Vaikka PLA ei värjäantynyt, antoi se värjäytymättömänä oman efektinsä kuitukankaiden ulkonäköön. Meleerattu ilme antoi mielenkiintoista elävyyttä kuitukankaisiin ja myös yhden vaihtoehdon tekstiisuunnitteluun. Mielestäni värjääminen nosti kuitukankaiden visuaalista olemusta pois kertakäyttötuote-imagostaan. Värjäysprosessi ei myöskään muuttanut kankaiden tuntua. Värjäyksen aikana lämpötila oli maksimissaan 80 °C.



Kuva 38 : Saimaa etu- ja nurja

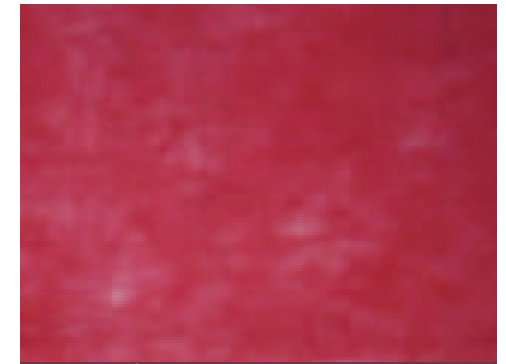


Kuva 39 : Vanaja etu- ja nurja puoli

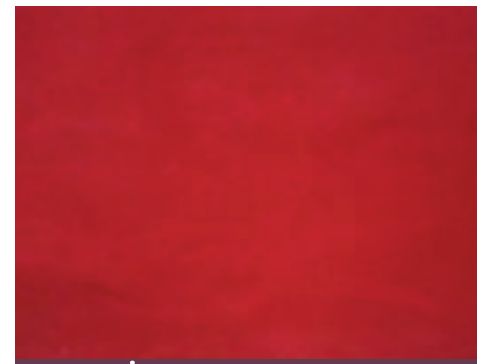
7.4.2. Painaminen ja värjääminen Imperon-pigmenttiväreillä käyttäen painopastaa

Kuitukankaiden painamiseen käytin Imperon-pigmenttiväriä, johon lisäsin valmista ohennetta STO 10 SERIVÄRI sekä painopastaa. Painamisessa käytin avoseulaa.

Pigmenttiväreillä painaminen sekä vedellä ohennetulla painopastalla värjääminen antoi tasaisen lopputuloksen. Kuitukangas muuttui hiukan jäykemmäksi ja tunnultaan kovemmaksi väriaineen sisältämien liima-aineiden vuoksi. Silityksen tuoma PLA:n läpikuultavuus jäi myös näkymättä (kuvat 40, 41 ja 42).



Kuva 40 : 100% PLA-kuitukangas



Kuva 41 : Saimaa-kuitukangas



Kuva 42 : Vanaja-kuitukangasi

PLA-katkokuitua ei voi varsinaisesti painaa, joten lisäsin painopastaan vettä ja sekoitin katkokuidut ohennettuun painopastaan (kuva 43). Kuiva-
tin katkokuidut tasokuivauksena. Käytin vedellä ohennettua painopastaa
myös kuitukankaiden värjäämiseen. Kuvassa 44 on ohennetulla painopas-
talla värjättyä PLA-katkokuitua.

7.4.3. Värjäys musteella

Värjäsin PLA-katkokuitua myös musteella (kuva 45). Liotin kuituja hetken
vedellä ohennetussa musteessa. Musteella värjääminen säilyttää hyvin
polylaktidin läpikuultavuuden villakuituun sekoitettuna ja kuumennettu-
na, mikä näkyy materiaalisekoituksessa erityisesti valoa vasten.



Kuva 43 : PLA-kuitu painopastassa.



Kuva 44 : Värjättyä PLA-kuitua.



Kuva 45 : Musteella värjättyä PLA:ta.

7.4.4. Ingeo-polylaktidilangan värjäys NatureWorksin yhteistyökumppanin tutkiman menetelmän mukaan

Tämä menetelmä edellyttäisi esipesuun tarvittavia kemikaaleja sekä oikean lämpötilan saamiseen painelaitetta, joita Taideteollisessa korkeakoulussa ei ole saatavilla, joten käyn läpi menetelmän pintapuolisesti.

Menetelmän kulkuun kuuluu seuraavat vaiheet:

Esilämmön säätäminen (Pre-Heat Set)

- Materiaalin esilämmitys noin 120- 125 °C asteeseen 30-45 sekunnin ajaksi. Materiaalin lämpötila ei saa ylittää 130° C astetta.

Materiaalin pesu ennen värjäystä (Scour)

- 40° C asteeseen veteen, jossa on PLA-materiaali, lisätään jotain seuraavista kemikaaleista: Kieralon® Jet-B Conc (BASF), tai Cyclanon, ECO® (BASF), tai Diadavin UFN (BAYER), tai Diadafin UNJ (Bayer). Kemikaalien määrä on noin 0,5 - 1 g/litraa kohden vettä.
- pH säädetään soodalla.
- Tämän jälkeen lämpötilan nosto 60° C asteeseen sekä 10 minuutin pesu, jonka jälkeen lämpötilan laskeminen 50° C asteeseen. Tämän jälkeen 10 minuutin jälkipesu vedellä, jonka lämpötila on 40° C astetta.

Värjäys (Dyeing)

Pelkistäminen (Reductive Clear)

Kuivaus (Dry)

Jälkilämmön säätäminen (Post Heat Set)

Viimeistely (Finish)

Tarkemmat ohjeet löytyvät pdf-versiona internet-osoitteesta:

<http://www.natureworkslc.com/Product-and-Applications/Apparel>

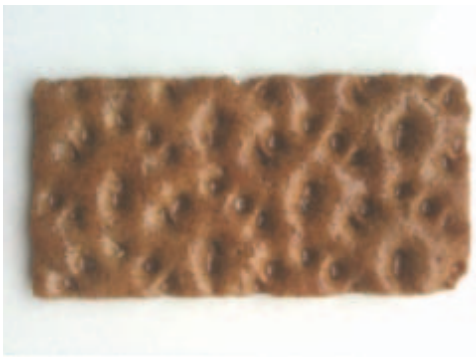
Värjäysmenetelmät neuleille sekä kudotuille kankaille löytyvät internet-osoitteesta:

http://www.natureworkslc.com/~media/Technical_Resources/Fact_Sheets/Fibers/FactSheet_Dyeing_Finishing_KnittedGoodsfromFilamentYarns_pdf.pdf

<http://www.natureworkslc.com/Product-and-Applications/Home-Textile>

7.5. Muottien valmistus

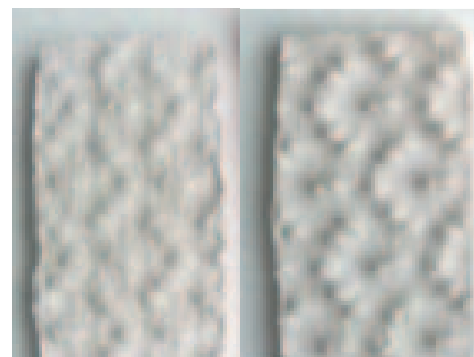
Tein kipsimuotteja käytettäväksi PLA/villa-yhdistelmien ja -komposiittimateriaalien lämmön avulla muokkausta varten tyhjiömuovauskoneessa tai alipainepuristimessa. Tavoitteenani oli saada erilaisia pintastruktuureja yhdistelmä- ja komposiittimateriaaleihin (kuvat 46-49).



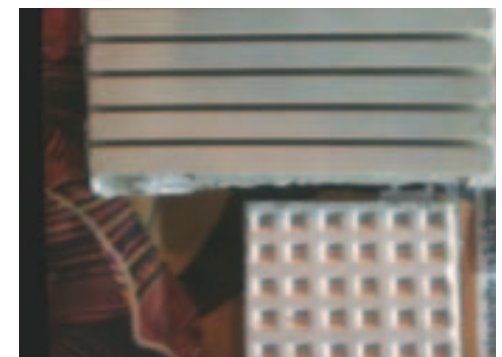
Kuva 46 : Lakattu ja öljytty näkkileipä



Kuva 47 : Kipsijauhon sekoitus veteen



Kuva 48 : Näkkileipämuotit



Kuva 49 : Erilaisia kipsimuotteja

7.6. Kuitukankaiden peseminen

Testasin värjättyjen Biolace® -kuitukankaiden soveltuvuutta pesukonepesuun ja yhteensilitettyjen kankaiden kiinnittymistä. Pesuohjelmana oli 40° C asteen hienopesu.

Pesussa yhteensilitetyt kuitukangasalueet pysyivät kiinni toisissaan (kuvat 50-51).

Leikatut aukot avautuivat pesun yhteydessä ja tekivät materiaalista pit-simäisen, mutta myös hieman repaleisen. (kuvat 52-55). Toisaalta "repaleisuus" antaa oman efektinsä ja tuo tietynlaista rentoutta ja ilmavuutta materiaaliin esim. käytettäväksi vaikka huivina.



8.1. Leikkaaminen ja silittäminen

Kuitukankaan eduksi voi lukea, ettei se purkaannu leikatessa ja on siksi helposti työstettävää.

Biolace® -kuitukankaiden sisältämä PLA mahdollisti kuitukankaiden yhteen silittämisen, koska PLA sulaa ja kiinnittää kankaat toisiinsa lämmön vaikutuksesta. Saimaa- ja Vanaja-kuitukankaissa PLA:n osuus on 35 % ja ne kiinnittyivät silitettäessä hyvin toisiinsa.

PLA myös kovettuu lämmön vaikutuksesta, joten mitä enemmän sitä on materiaalissa, sitä kovemmaksi kangas muuttuu kuumentamisen jälkeen. Jos sitä taas on liian vähän, kiinnittyminen on heikompaa. Miedolla lämmöllä silittäminen pitää kuitukankaan vielä pehmeänä, jos yhteenkiinnittämiselle ei ole tarvetta.

8.2. Rypyttäminen ja silittäminen

Rypytin kuitukankaita harso-ompeleiden avulla (kuva 56) sekä sitomalla ompelulangalla pieniä nyyttejä kankaan pintaan (kuva 57) ennen silittämistä. Silittämisen jälkeen irrotin ompeleet. Rypytys pysyy tietysti paremmin, jos ompeleet jätetään kankaaseen. Laskostin kangasta myös vapaasti silittämisen yhteydessä. Rypytys antaa kankaalle struktuuria. Rypytyksen pysyvyys on myös osittain ongelma, koska rypytyksen saa ainakin osittain revittyä auki. Toisaalta se antaa joustavuutta materiaaliin ja mahdollistaa muotoilua jälkikäteen.



Kuva 56: Vanajan rypyttäminen



Kuva 57: Saimaan rypyttäminen

8.3. Muottien ja uunin, tyhjiömuovauskoneen tai alipainepuristimen hyödyntäminen

Muottien käyttö mahdollisti suunnitellumman pintastruktuurin toteuttamisen. Aluksi ajatuksena muottien käytölle oli kokeilla niitä lähinnä villa/PLA-kuitumassan muotoiluun lämmön ja paineen vaikutuksen alaisena, mutta myös kuitukankaan käyttö tuli mukaan kokeilujen edetessä.

Menetelmissä, joissa käytetään tyhjiömuovauskonetta tai alipainepuristinta, materiaali tiivistyy kokonaisuudessaan muotin pintaa vasten, ja lämmön vaikutuksesta PLA sulaa ja muovaa yhdistelmämaterialin -tai komposiitin haluttuun muotoon. Kun hyödynsin muotteja pelkän uunin lämmössä, PLA valui osittain kuitumassan läpi ja teki materialista epähomogeenisen eikä struktuurin muodostuminenkaan ollut yhtä selkeä. Tyhjiömuovauskoneessa ja alipainepuristimessa sulanut PLA pysyy tasaisempana läpi koko materialin.

Tyhjiömuovauskoneen käyttö:

Esilämmitin kipsimuotin tyhjiömuovauskoneen lämpötason avulla ennen materialin levittämistä muotille. Kipsimuotin tai verkon päälle asettelin PLA/villayhdistelmän ja lämpöä kestävän ohuen silikonikalvon (kuva 58). Tämän jälkeen käynnistin tyhjiömuovauskoneen imun, joka veti materialin tiiviisti muottia vasten (kuva 59). Kuumennettaessa vedin lämpötason materialin yläpuolelle hetkeksi (kuva 60).



Kuva 58 : Silikonikalvon asettelua



Kuva 59 : Tyhjiömuovaus käytössä

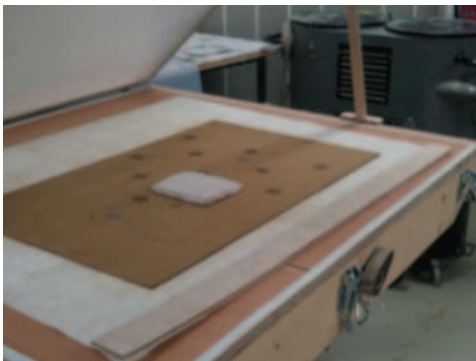


Kuva 60 : Lämpötaso yläpuolelle

Alipainepuristimen käyttö:

Ensin lämmitin muotit uunissa ja kuitumassan tai kuitukankaat prässässä, koska alipainepuristimessa itsessään ei ole materiaaleja lämmittävää laitetta. Työskentelyssä kannatti olla ripeä, jotta kipsimuotti ja materiaalit eivät päässeet jäähtymään liikaa. Alipainepuristimen tasolle laitoin ensin muotin (kuva 61), ja sen päälle muovattavat materiaalit. Tämän jälkeen laskin silikonitason niiden päälle ja käynnistin alipainepuristimen, joka tiivisti muovattavan materiaalin ja silikonin muottia vasten (kuva 62).

Infrapunalämpömittarilla tarkistin materiaalien ja muotin lämpötilan (kuva 63). Kun muotin lämpö oli saavuttanut uunissa n. 110-130° C asteen lämpötilan ja muovattava materiaali n. 160-180° C astetta, onnistui materiaalien muovaus alipainepuristimessa.



Kuva 61 : Alipainepuristin ja muotti



Kuva 62 : Alipainepuristin päällä



Kuva 63 : Lämpötilan tarkistus

8.4. Kipsimuotin hyödyntäminen silityksen yhteydessä

Hyödynsin kipsimuottia (kuva 64.) myös kuitukankaiden käsittelyssä muodostaa kolmiulotteista struktuuria eriväristen kuitukankaiden yhdistelmällä. Prosessin eri vaiheet näkyvät kuvissa 65 – 68. Tätä tekniikkaa voisi hyödyntää siten, että lisää eriväristen kankaiden määrää ja/tai leikkaa kaistaleet vielä ns. hapsuiksi tai lisää lankoja kankaiden väliin ryijymäisen pinnan aikaansaamiseksi.

Painelin mustan Saimaa-kuitukankaan veitsen avulla muotin rakoihin (kuva 65), jonka jälkeen silitin kankaan.

Tumman harmaan kankaan päälle asetin vihreän kankaan, jonka painelin myös veitsen avulla muotin rakoihin (kuva 66) ja silitin sen harmaaseen kankaaseen kiinni. Kiinnittyminen tapahtuu vain tasojen kohdalla. Raossa olevat kohdat kankaista eivät kiinnity toisiinsa.

Vihreän kankaan ja uuden mustan kankaan väliin laitoin ohuen kerroksen PLA-kuitua varmistaakseni kiinnittymistä, jonka jälkeen silitin kankaat yhteen (kuva 67).

Kuvassa 68 on silitetyt ja yhdistetyt kankaat irrotettuna muotista. Tämän jälkeen leikkasin ulokkeet auki niin, että vihreä kangas tuli myös näkyviin. Tästä kuva materiaalinäytteissä luvussa 9 (näyte 33).



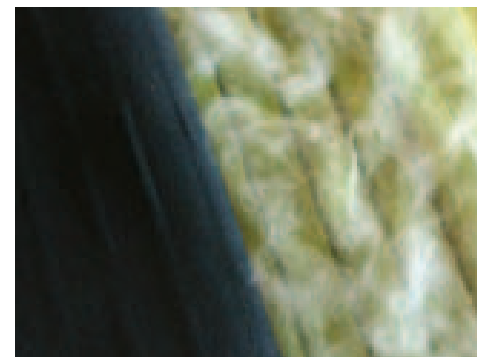
Kuva 66 : Vihreä kangas muottiin.



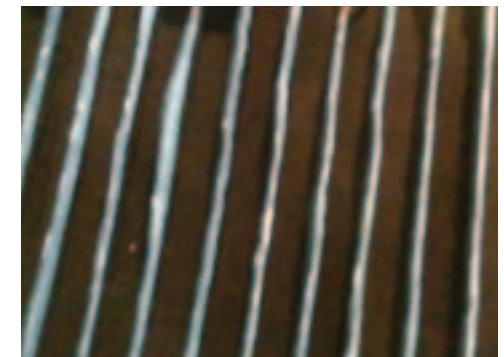
Kuva 64 : Kipsimuotti



Kuva 65 : Kankaan painelu muottiin.



Kuva 67 : PLA- kuitu kankaan päälle



Kuva 68 : Kangas irrotettu muotista



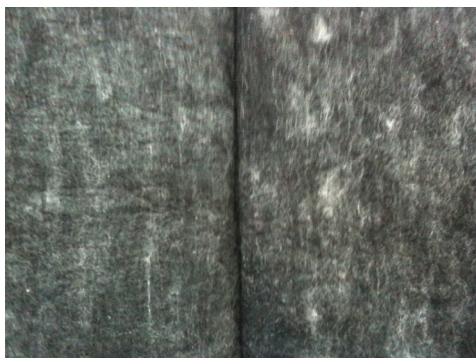
materiaalinäytteet

materiaalinäytekokoelma esittelee kokeilujeni tuloksia erilaisista lähestymistavoista PLA-pohjaisiin kuitukankaisiin ja yhdistelmäateriaaleihin sekä komposiitteihin. Tavoitteenani oli löytää kuitukankaiden käytölle uusia vaihtoehtoja sekä tutkia PLA-kuidun käyttöä villan yhdistelmäateriaalina sekä komposiittimateriaalina. Käyttämäni tekniikat lähtivät käsityömaisestä työskentelystä, mutta monia niistä voidaan soveltaa teolliseen tuotantoon alkaen karstauksesta tyhjiömuovaukseen tai alipaineen hyödyntämiseen. Materiaalinäytteet olen ryhmitellyt käytettävien materiaalien ja menetelmien yhdistelmillä.

9.1. Kuitukankaat

9.1.1. Värjätyt kuitukankaat

Näytteet värjäsin Remazol-reaktiiviväreillä. Kankaiden pehmeys säilyi ja ne kestivät hyvin värjäysprosessin. Kankaista Vanaja on aavistuksen kiiltävämpi. Lähikuvassa näkyy hyvin kankaiden meeleerattu värjäystulos (kuva 70).



Kuva 70 : Saimaa- ja Vanaja-kuituk.

Näytteet 1a-g: Saimaa-kuitukankaan värjäysnäytteet reaktiivivärillä.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näytteet 1a-g : Saimaa-kuitukankaiden värinäytteet

Sovellusehdotuksia:

Pehmeytensä ja miellyttävän tunnun vuoksi soveltuvat käytettäväksi ihoa vasten esim. huiveihin tai asustemateriaaliksi.

Näytteet 2a-g: Vanaja-kuitukankaan värjäysnäytteet reaktiivivärillä.

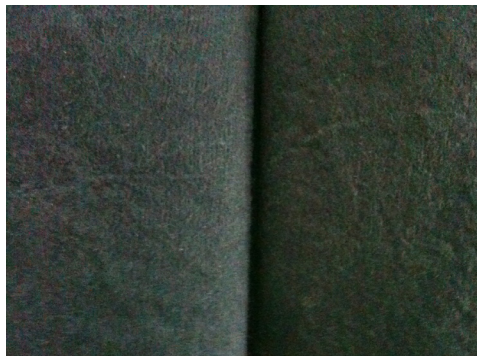
Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näytteet 2a-g : Vanaja-kuitukankaiden värinäytteet

Värjäys ohennetulla painopastalla ja Imperon-pigmenttiväreillä tekee materiaalista jäykähkön ja pinnalta aavistuksen nihkeän. Värjäystulos on tasainen (kuva 71).



Kuva 71 : Saimaa- ja Vanaja-kuituk.

Näytteet 3a-g: Saimaa-kuitukankaan värinäytteet 3a-g ohennetulla painopastalla ja pigmenttivärillä

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO

Värjäys: vedellä ohennettu painopasta ja Imperon-pigmenttiväri



Näytteet 3a-g : Saimaa kuitukankaiden värinäytteet

Sovellusehdotuksia:

Materiaali sopisi käytettäväksi esimerkiksi vaikkapa sisutuskankaana koristetyynyihin.

Näytteet 4a-f: Vanaja-kuitukankaan värinäytteet 4a-f ohennetulla painopastalla ja pigmenttivärillä

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värjäys: vedellä ohennettu painopasta ja Imperon-pigmenttiväri



Näytteet 4a-f : Vanaja kuitukankaiden värinäytteet

9.1.2. Rypytetyt ja silitetyt kuitukanaat

Näyte 5: Vanaja-kuitukankaan rypytin harso-ompelein ennen silittämistä. Tämän jälkeen irrotin harso-ompeleet.

Silittäminen kovetti hiukan materiaalia, mutta lisää kankaan läpikuultavuutta valoa vasten.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. lampunvarjostimeen, näköesteeksi ikkunaan/lasioveen tai paneeliverho.

Koska PLA sulaa n. 160° C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värijäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 5 : Rypytetty Vanaja-kuitukangas ja oikealla sama kangas valoa vasten.

Näyte 6: Vanaja-kuitukankaan rypytin vapaalla kädellä silittämisen yhteydessä.

Silittäminen kovetti hiukan materiaalia, mutta lisäsi kankaan läpikuultavuutta valoa vasten.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. lampunvarjostimeen, näköesteeksi ikkunaan/lasioveen tai paneeliverho.

Koska PLA sulaa n. 160° C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värijäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 6 : Rypytetty Vanaja-kuitukangas ja oikealla sama kangas valoa vasten.

Näyte 7: Saimaa-kuitukankaan rypytin solmimalla ompelulangalla kankaaseen pieniä "nyyttejä" ennen silittämistä. Silittämisen jälkeen poistin ompleet. Rypytys antaa kankaalle struktuuria. Koska rypytys antaa hiukan periksi, se lisää myös kankaan joustavuutta.

Sovellusehdotuksia: Sisustuskankaaksi, esim. sohvatyynynpäällinen.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 7 : Langalla rypytetty ja silitetty Saimaa-kuitukangas.

Näyte 8: Vanaja-kuitukankaan rypytin harso-ompelein. Silittämisen jälkeen irroitin harso-ompelein.

Sovellusehdotuksia: Sisustuskankaaksi, esim. koristetyynynpäällinen tai verhokangas.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 8 : Harso-ompelein laskostettu ja silitetty Vanaja-kuitukangas.

Näyte 9: Vanaja-kuitukankaaseen tein pienet veikit taittelemalla kankaan kaksin kerroin ja silittämällä taitoskohtaa noin 1 mm leveydeltä. Kangas säilytti vielä pehmeytensä, koska silitin sitä vain taitoskohdista.

Sovellusehdotuksia: Asustemateriaali, esim. huivi; sisustusmateriaali, esim. sohvatyynyinpäälinen tai päiväpeittokangas.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 9 : Kuitukangas-Vanaja, johon on silitetty kapeat veikit.

9.1.3. Leikatut yksikerroksiset kuitukankaat

Näyte 10: Vanaja-kuitukankaaseen leikkasin V-viiltoja, jotka avautuivat pesun jälkeen. Kankaaseen muodostui pitsimäinen pinta, joka oli hiukan repaleinen, mikä tietyissä tarkoituksissa kiinnostaa rennolla ilmeellään. Kangas tuntuu pehmeältä.

Sovellusehdotuksia: Asustemateriaali, esim. huivi; sisustusmateriaali, esim. verhot.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 10 : Leikkaamalla kuvioitu Vanaja-kuitukangas

9.1.4. Monikerroksiset ja silitetyt kuitukankaat

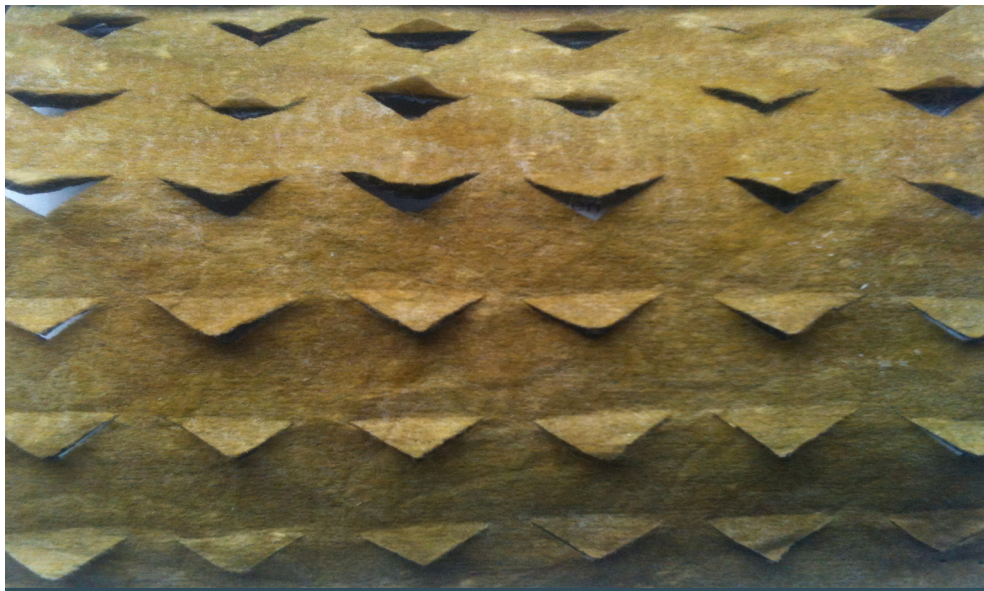
Näyte 11: Silitin ensin yhteen kaksi eri väristä kangasta, jonka jälkeen leikkasin siihen v-viillot, jotka taittelin auki.

Sovellusehdotuksia: Sisustuskankaaksi, esim. koristetyynynpäällinen, seinään struktuuria antamaan tai verhopaneeli.

Koska PLA sulaa n. 160 °C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO

Värijäys: Remazol-reaktiiviväri



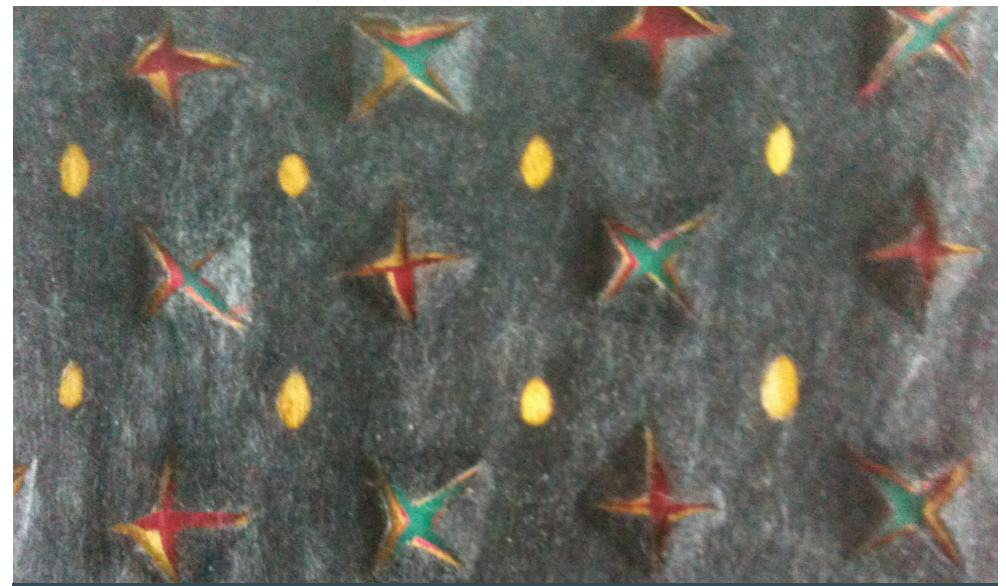
Näyte 11 : Kaksi eriväristä kuitukangasta päällekkäin, kuvioitu leikkaamalla.

Näyte 12: Kuvioin erivärisiä kuitukankaita leikkaamalla ja silitämällä niitä yhteen. Taittelin myös kankaan ristiviiltojen kohdat auki. Leikkaamista ja silitämistä voi toistaa sen mukaan, kuinka useita värejä halutaan näkyviin.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. koristetyynynpäällinen tai seinään pintamateriaaliksi.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värijäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 12 : Leikkaamalla kuvioituja kuitukankaita, jotka on silitetty yhteen.

9.1.5. Paloiksi leikatut tai revityt ja yhteensilitetyt kuitukankaat

Näyte 13: Leikkasin nauhaksi värjäämättömän valkoisen Saimaa-kuitukankaan, jonka jälkeen asettelin nauhan kuvioksi ja silitin yhteen nauhojen päällekkäiset osat. Nauhojen väliin jäi aukkoja. Tämän voisi silitää kiinni myös toiseen eri- tai samanväriseen kuitukankaaseen.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. ikkunaan/lasioveen näköesteeksi, verho kangas tai suoraan seinään kiinnitettynä antamaan pintastruktuuria.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO



Näyte 13 : Nauhaksi leikattu kuitukangas aseteltuna kuvioksi ja silitetty.

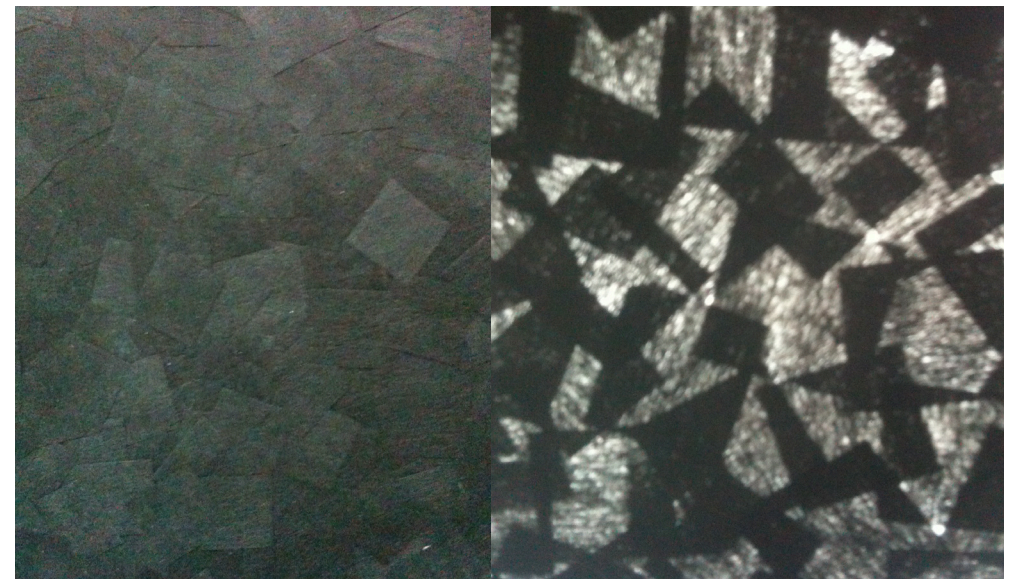
Näyte 14: Vanaja-kuitukankaan leikkasin neliöiksi, jotka sen jälkeen silitin yhteen. Valoa vasten materiaali on osittain läpikuultava. Se on myös aavistuksen jäykähkö tunnultaan.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. ikkunaan/lasioveen näköeste, verhopaneeli tai lampunvarjostin.

Koska PLA sulaa n. 160 °C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 14 : Vasemmalla leikattu ja silitetty kangas. Oikealla se on valoa vasten.

Näyte 15: Leikkasin Vanaja-kuitukankaan osittain suikaleiksi ja nostin joka toisen suikalleen koholle pyöreän puikon avulla ennen silittämistä. Silitin kangasta ainoastaan suikaleiden kiinnityskohdista.

Sovellusehdotuksia: Materiaalin kolmiulotteisuus lisää sen ilmavuutta ja sopii käytettäväksi esimerkiksi huivina. Ilmavuus antaa kankaalle lämmöneristävyyttä.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO

Värijäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 15 : Leikattu ja silitetty kuitukankangas edestä ja takaa.

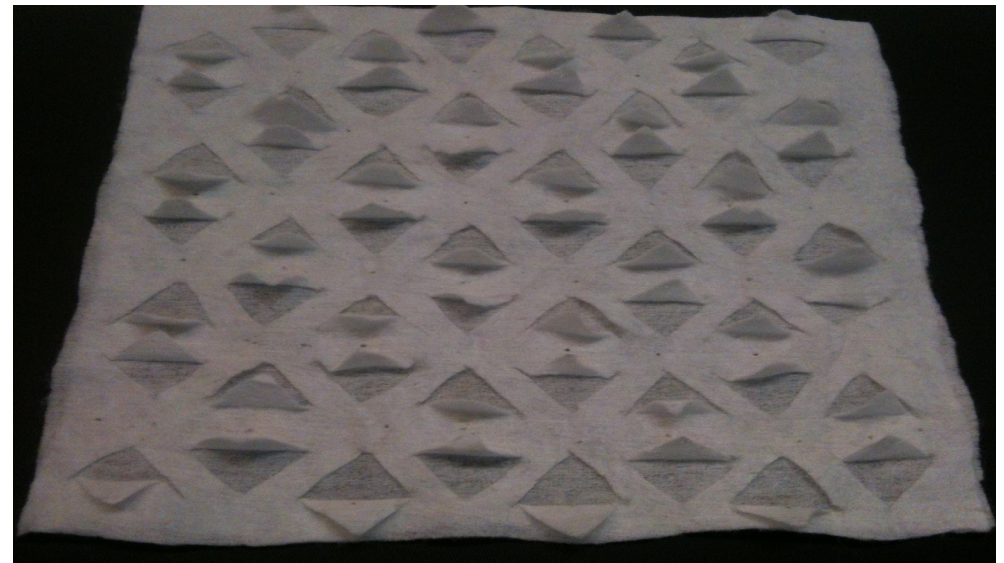
Näyte 16: Saimaa-kuitukankaan leikkasin ja silitin kiinni toiseen kankaaseen. Ulokkeiden alla oli leivinpaperisuikaleet estämässä kiinnittymistä niistä kohdista.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim koristetyynynpäällinen, paneeliverho (valo kuultaa osittain läpi) tai lampunvarjostin.

Koska PLA sulaa n. 160 °C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO

Värijäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 16 : Kaksikerroksinen kangas, johon on leikkaamalla tehty struktuuri.

9.2. PLA- ja villakuitumateriaalit ja PLA-pohjaiset komposiitit

9.2.1. Silitetyt PLA/villakuitumateriaalit ja -komposiitit

Näyte 17: Yhdistin karstaamalla merinovillan ja pigmenttivärillä mustaksi värjätyt PLA-kuidut, jotka silitin sen jälkeen tiivistetyksi levyksi. Tästä tuli huovutettua villaa muistuttava materiaali; pehmeäkö ja jämäkö, vaikka tosin ei ehkä niin kulutusta kestävä. Pinta on sileämpi kuin tavallisessa huovutetussa villassa ja epätasaisesti sekoittunut PLA-kuitu teki pintaan kuvioita ja antoi siihen kiiltoa. Tämä olisi todella nopea ja helppo tapa saada huovutetun villan kaltaista materiaalia. Merinovilla antaa miellyttävän tunnun materiaalille.

Sovellusehdotuksia: Sisustus-, vaatetus- tai asustemateriaaliksi (esim. laukku, hattu, takki, tyynynpäällinen).

Materiaali: 60% Merinovilla / 40% PLA



Näyte 17 : Merinovilla- ja PLA-kuidun yhdistelmä, joka on silitetty.

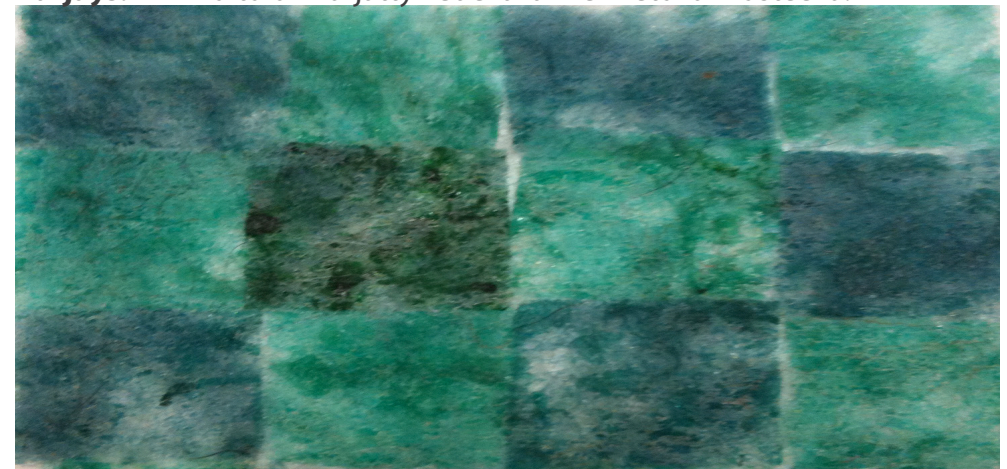
Näyte 18: Kevyin painalluksin silittämällä tiivistetty PLA-villakuituyhdistelmä (komposiitti), jonka leikkasin neliöiksi ja silitin uudelleen yhteen reilusti painaen, jotta neliöt kiinnittyivät toisiinsa. PLA-kuitu on värjätty vedellä ohennetulla musteella.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. ikkunaan/lasioveen näköesteeksi, verhopaneeli tai lampunvarjostin.

Koska PLA sulaa n. 160 °C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: 65% PLA / 35% WO

Värjäys: PLA-kuitu on värjätty vedellä laimennetulla musteella.



Näyte 18 : Silitetty PLA- ja villakuitukomposiitti, jonka PLA värjätty musteella.

9.2.2. Muotilla tehdyt PLA/villakuitumateriaalit sekä -komposiitit

Näyte 19: Karstattu villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jota ensin esihuovutin hiukan, ja jonka sen jälkeen silitin tiiviimmäksi levyksi. Struktuurin työstin tyhjiömuovauskoneessa kipsimuotin avulla. Esihuovutuksen tarkoitus oli tiivistää hiukan materiaalia, minkä voisi korvata esim. muovauksen yhteydessä tapahtuvalla prässäyksellä tai voimakkaammalla tyhjiöpaineella. Materiaali on tunnultaan pehmeäkö ja kohtuullisen jämäkkä.

Tämä olisi edullinen ja nopea tapa valmistaa mattoja suoraan kuitumateriaalista ja saada erilaisia struktuureja pintaan.

Sovellusehdotuksia: Sisustumateriaali, esim. matto tai tyyny; asustemateriaali, esim. laukku.

Materiaali: 70 % WO / 30 % PLA



Näyte 19 : Villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jota on työstetty muotilla.

Näyte 20: Karstattu villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jota ensin esihuovutin hiukan, ja jonka sen jälkeen silitin tiiviimmäksi levyksi. Struktuurin tein kanaverkon avulla tyhjiömuovauskoneessa. Esihuovutuksen tarkoitus oli tiivistää hiukan materiaalia, minkä voisi korvata esim. muovauksen yhteydessä tapahtuvalla prässäyksellä tai ehkä voimakkaammalla tyhjiöpaineella. Materiaali on tunnultaan pehmeähkö ja kohtuullisen jämäkkä.

Tämä olisi edullinen ja nopea tapa valmistaa mattoja suoraan kuitumateriaalista ja saada erilaisia struktuureja.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. matto tai tyyny; asustamateriaali, esim. laukku

Materiaali: 70 % WO / 30% PLA



Näyte 20 : Villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jonka strukturi tehti kanaverkolla.

Näyte 21: Karstattu PLA- ja villakuitukomposiitti, jonka struktuurin tein kipsimuotilla tyhjiömuovauskoneessa. Materiaali kestää jonkin verran kosteutta ja sitä voidaan pyyhkiä esim. kostealla rievulla. Materiaalina muovimainen, suhteellisen kova ja kevyt.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. seinästrukturi, pöytätabletti tai kulho; asustamateriaali, esim. laukku.

Materiaali: 80% PLA / 20 % WO



Näyte 21 : PLA- ja villakomposiitti, jonka strukturi on tehty kipsimuotilla.

Näyte 22: PLA- ja villakuitukomposiitti, jonka struktuurin tein kipsimuotilla tyhjiömuovauskoneessa. Materiaali kestää jonkin verran kosteutta ja sitä voidaan pyyhkiä kostealla rievulla. Materiaalina suhteellisen kova ja kevyt.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. seinästrukturi tai kulho; asustemateriaali. esim. laukku.

Materiaali: 70% PLA / 30% WO



Näyte 22 : PLA- ja villakomposiitti, jonka strukturi on tehty kipsimuotilla.

Näyte 23: PLA- ja villakuidun yhdistelmä, jota ensin esihuovutin hiukan ja jonka sen jälkeen prässäsin tiiviimmäksi levyksi. Struktuurin tein kipsimuotin avulla alipainepuristimessa. Materiaali on tunnultaan puolipehmeä ja se muistuttaa jonkin verran huovutettua villaa.

Sovellusehdotuksia: Asustemateriaali; esim. laukku.

Materiaali: 60% PLA / 40% WO



Näyte 23 : Villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jonka strukturi on tehty muotilla.

Näyte 24: Karstattu villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jonka struktuurin tein kipsimuotilla tyhjiömuovauskoneessa. Muistuttaa huovutettua villamateriaalia, pehmeähkö, mutta jämäkkä. Materiaalin pinta on sileämpi kuin tavallisessa huovutetussa villassa, ja epätasaisesti sekoittunut PLA-kuitu antaa myös vaihtelevaa kuviointia ja kiiltoa pintaan. Merinovilla tekee materiaalista tunnultaan miellyttävän.

Sovellusehdotuksia: Sisustus-, vaatetus- tai asustemateriaaliksi. Esim. laukku, hattu tai sohvatyynyinpäällinen.

Näyte 25: Karstattu villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jonka struktuurin tein kipsimuotilla tyhjiömuovauskoneessa. Muistuttaa huovutettua villamateriaalia; pehmeähkö, mutta jämäkkä.

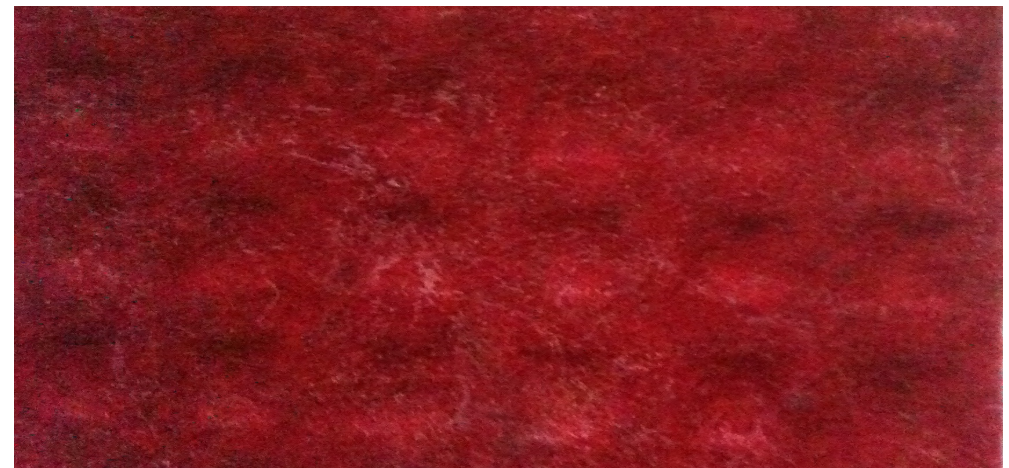
Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. seinästrukturi tai sohvatyyny; asustemateriaali, esim. hattu tai laukku.

Materiaali: 60% merinovilla / 40% PLA



Näyte 24 : Villa -ja PLA-kuidun yhdistelmä, jonka strukturi on tehty muotilla.

Materiaali: 60% WO / 40% PLA



Näyte 25 : Villa- ja PLA-kuidun yhdistelmä, jonka strukturi on tehty muotilla.

9.3. Sekatekniikat:

Näyte 26: Materiaalin alla on 85 % PLA / 15 % WO -komposiitti, jonka päälle asetin valkoisella pigmenttivärillä painettua PLA-kuitukangasta. Materiaalien yhdistämisen ja struktuurin tein alipainepuristimessa kipsimuotilla.

Materiaali on kovahko, mutta painellessa se antaa hiukan periksi. Tunnultaan se on hiukan nihkeä.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, seinään äänieristeeksi tai struktuuria antamaan.

Materiaali: 100 % PLA-kuitukangas, jonka alla 85 % PLA- / 15 % WO
Painoväri kuitukankaalle: Imperon pigmenttiväri / avoseula



Näyte 26 : Lämpömuovattu PLA-kuitukangas sekä PLA- ja villakuitukomposiitti.

Näyte 27: Materiaalin päällä ja alla on ohut huovutettu merinovillakerros, ja joiden välissä on 75 % PLA/15 % WO -komposiittimateriaalin. Lämpömuovauksen tein tyhjiömuovauslaitteessa kipsimuotilla. Materiaalin pinta on miellyttävän pehmeä merinovillan ansiosta ja PLA mahdollistaa pin-tastruktuurin muovaamisen.

Tämä yhdistelmä soveltuisi esim. laukun materiaaliksi. Laukun pehmeämpiin osiin voisi käyttää pelkästään huovutettua merinovillaa ja sen jäykempiin osiin PLA:n ja villakuidun yhdistelmää materiaalisuhdetta vaihtelemalla. Materiaalien vaihtelusuhde voisi olla esim. 20-40% PLA/ 80-60% tavoitellun kovuusasteen mukaan.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. akustinen seinäpaneeli; asustemateriaali, esim. laukku.

Materiaali: Päällä ja alla 100 % merinovilla,
välissä 75 % PLA / 15 % WO (suomenlampaan villa)



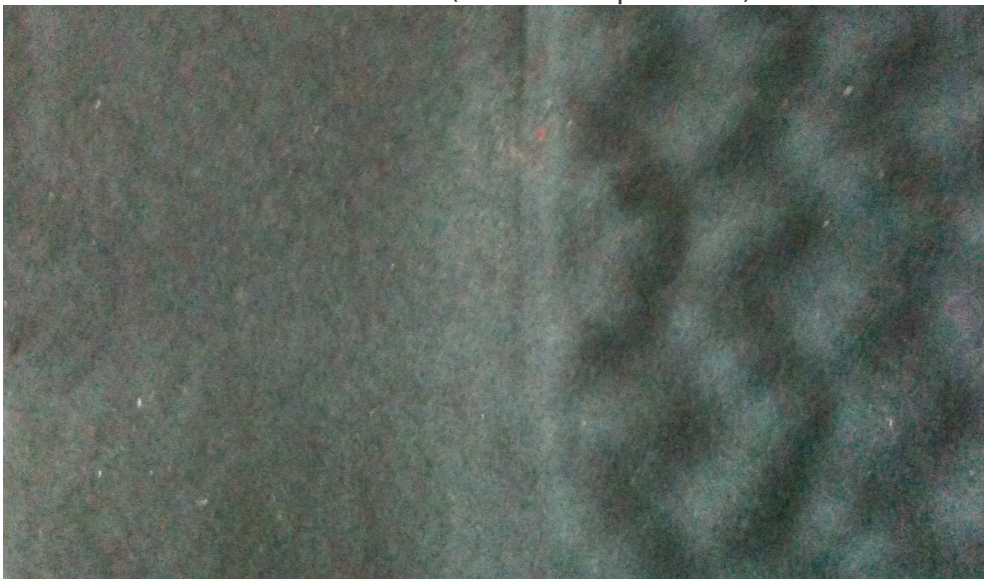
Näyte 27 : Lämpömuovattu merinovilla sekä PLA- ja villakuitukomposiitti.

Näyte 28: Huovutettu merinovilla, jonka struktuurialueen alle asetin 80 % PLA / 20% WO -komposiittimateriaalin. Lämpömuovauskäsittelyn tein alipainepuristimessa kipsimuotilla. Materiaalin pinta on miellyttävän pehmeä merinovillan ansiosta.

Tämä yhdistelmä soveltuisi esim. laukun materiaaliksi. Laukun pehmeämpiin osiin voisi käyttää huovutettua merinovillaa ja sen jäykempiin osiin PLA:n ja villakuidun yhdistelmää materiaalisuhdetta vaihtelemalla.

Sovellusehdotuksia: Asustemateriaaliksi; esim laukku, hattu, sisustukseen; akustinen seinäpaneeli tai tuotteisiin, joissa tarvitaan sekä pehmeitä että jäykempiä osia.

Materiaali: 100 % merinovilla ja struktuurialueen alla
80 % PLA / 20 % WO (suomenlampaan villa)



Näyte 28 : Huovutettu merinovilla ja struktuurin alla PLA/villakomposiittia.

Näyte 29: Materiaalin päällä ja alla on pigmenttiväriä painettua Vanajakuitukangasta sekä niiden välissä 100 % PLA-katkokuitua. Lämpömuovauksen tein kipsimuotilla tyhjiömuovauskoneessa. Materiaali on jäykkää.

Sovellusehdotuksia: Asustemateriaali, esim laukku; sisustusmateriaali, esim. seinään pintastruktuuriksi.

Materiaali: Vanajakuitukangas 35% PLA / 65% VI ja 100 %PLA-katkokuitu
Painoväri: Imperon-pigmenttiväri



Näyte 29 : Kuitukankaan ja PLA-kuitujen yhdistelmä, joka on lämpömuovattu.

Näyte 30: Värjättyjen Saimaa-kuitukankaiden väliin leikkasin huovutetusta villalevystä pieniä neliöitä, jotka yhdistin silittämällä. Materiaali tuntuu pehmeähkö.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. sohvytyynynpäällinen tai akustinen seinämateriaali (villaneliökohoumia voi käyttää myös nuppi-neulalla kiinnitettävien pienten kuvien, korttien tai korujen kiinnityskoh-tana) ja vaatetus- sekä asustemateriaali.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO
ja huovutettu 100% villa (suomenlampaan villa)

Kuitukankaan värjäys: Remazol-reaktiiviväri



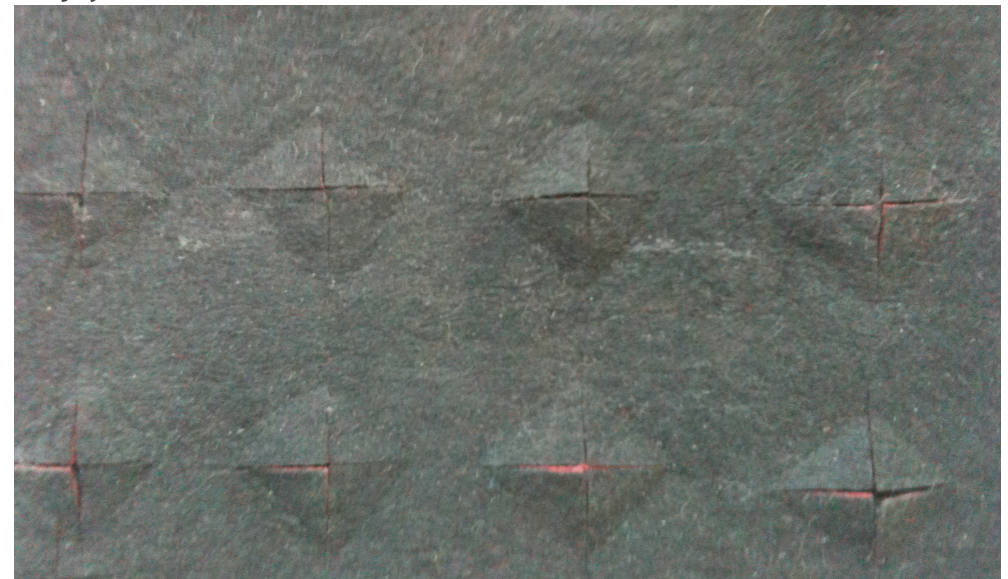
Näyte 30 : Kankaiden välissä huovutetut neliöt, jotka on yhdistetty silittämällä.

Näyte 31: Neulahuovutetun merinovillan päälle asetin punaisen sekä harmaan Vanaja-kuitukankaa. Materiaalit yhdistin silittämällä. Tämän jäl-keen leikkasin kuitukankaisiin ristiviillot, jotka painelin materiaalin nurjal-ta puolelta koholle. Neulahuovutettu villa tekee materiaalista pehmeän.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. tyynynpäällinen tai akusti-nen seinäpaneeli.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI ja 100 % merinovilla

Värjäys: Remazol-reaktiiviväri



Näyte 31 : Neulatun merinovillan päälle on silitetty leikatut kuitukankaat.

Näyte 32: Runsaan PLA-katkokuitukerroksen alle ja päälle asetin pigmenttivärillä painetut Vanaja-kuitukankaat. Lämpömuovauksen tein alipainepuristimella ja kipsimuotilla. Koska PLA-kuitua oli runsaasti, se imeytyi kuitukankaiden läpi. Materiaali on tunnultaan muovimainen ja kova. Tätä materiaalia tehdessä voisi osaan alueista jättää pelkkää kuitukangasta, jolloin siinä olisi sekä kovia että pehmeitä alueita.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali; esim. vati, asustemateriaali; laukku.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA / 65% VI ja 100 % PLA-kuitu

Painoväri: Imperon-pigmenttiväri



Näyte 32 : Kuitukankaan ja PLA-kuidun yhdistelmä, joka on lämpömuovattu.

Näyte 33: Päällekkäiset ja eriväriset Saimaa-kuitukankaat, joiden kolmiulotteisen struktuurin tein muotin avulla silittämisen yhteydessä. Kuitukankaiden väliin asetin 100 % PLA-katkokuitua ja muotti mahdollisti sen, että kankaiden yhteekiinnittyminen tapahtui vain materiaalin taustaosassa. Ulkokkeiden kohdalla ei ole PLA-katkokuitua. Prosessin eri vaiheet löytyvät luvusta 8.4.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. koristetyyny.

Materiaali: Saimaa-kuitukangas 35% PLA / 50% VI / 15% CO
ja 100 % PLA-katkokuitu

Painoväri: Imperon-pigmenttiväri



Näyte 33 : Kuitukankaiden silityksen yhteydessä on hyödynnetty muottia.

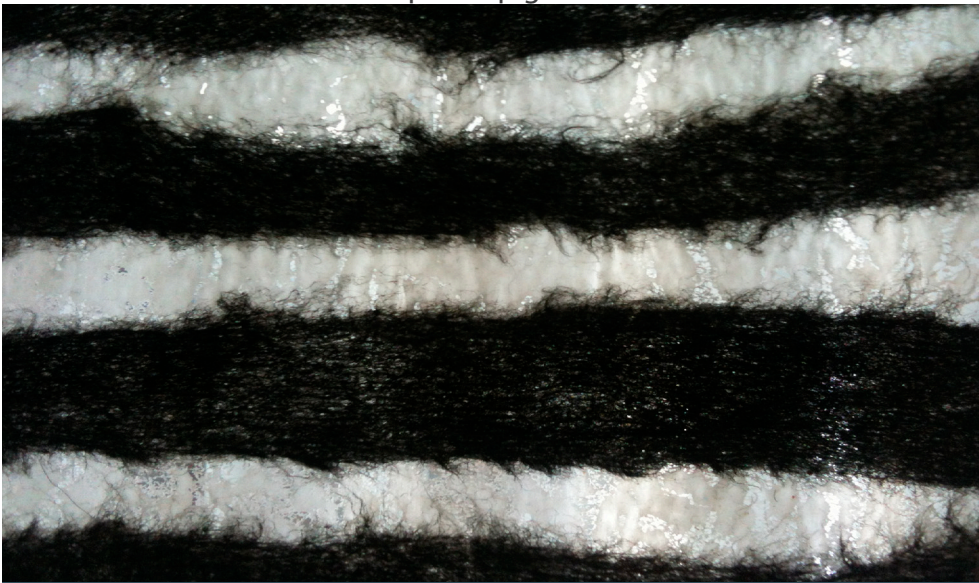
Näyte 34: Revittyjen kuitukangassuikaleiden väliin asetin 100 % PLA-kuitua, jonka kiinnitin kangassuikaleisiin silittämällä.

Sovellusehdotuksia: Sisustusmateriaali, esim. ikkunan/lasioven näköeste, verhopaneeli tai lampunvarjostin.

Koska PLA sulaa n. 160 °C asteessa, kannattaa lampunvarjostimen suhteen huomioda se, että materiaali on riittävän etäällä valolähteestä tai käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

Materiaali: Vanaja-kuitukangas 35% PLA /65% VI ja 100 % PLA-kuitu

Painoväri kuitukankaalle: Imperon-pigmenttiväri



Näyte 34 : Vanaja-kuitukangassuikaleet, joiden välissä on 100 % PLA-kuitu.

Henkilökohtaisesti tämä työ on ollut mielenkiintoinen ja opettavainen prosessi. Tutustuminen biohajoavaan PLA-kuituun ja sitä sisältäviin kuitukankaisiin on lisännyt kiinnostusta myös muihin vastaaviin materiaaleihin. Kestävää kehitystä ajatellen pidän kuitukankaiden valmistusprosessia yhdistettynä biohajoaviin kuituihin tärkeänä ja kehityskelpoisena vaihtoehtona valmistaa erilaisia materiaaleja ja komposiitteja. Menetelmänä kuitukankaiden valmistus on varsin nopea ja energiatehokas valmistustapa, koska se ei edellytä kudontaa, neulontaa tai erillistä langan valmistusta.

PLA-matriisi soveltuu villakuidun kanssa hyvin komposiittimateriaaliksi. Kokeilujen kautta löysin sekoitussuhteita sekä materiaaliyhdistelmiä, joita voi hyödyntää tekstiilisuunnittelun ja muotoilun inspiraationa. Lämpömuovautuvuutensa ansiosta PLA antoi mahdollisuuksia hyödyntää sitä erilaisten pintastruktuurien aikaansaamisessa ja/tai yleensä pehmeän tekstiilin kovettamisessa. Villan ja PLA-kuidun yhdistelmät lämpömuovauskäsittelyn myötä soveltuvat hyvin hyödynnettäviksi esim. mattomateriaalina tai korvaamaan huovutettujen kaltaisia villamateriaaleja. Lämpömuovaus tai pelkästään jo silittäminen olisi nopea tapa valmistaa materiaaleja, jotka muistuttavat huopaa. Komposiittimateriaalin eri sekoitussuhteita säätämällä niistä voitaisiin räätälöidä eri tarkoituksiin soveltuvia tuotteita, vaatteita tai asusteita.

Mielestäni yksi mielenkiintoisimmista tekijöistä komposiittimateriaaleissa oli PLA:n läpikuultavuus. Se tulee esiin lämpökäsittelyn myötä kun PLA-kuitu yhdistyy lujitekuituun. Yksistään PLA-kuitu jää valkoiseksi, kun sitä kuumentaa. PLA-pohjaiset kuitukankaat sekä PLA:n ja villan yhdistelmä-materiaalit sopivat hyvin käytettäviksi valoa vasten esim. ikkunaverhoissa tai paneeleissa ja jopa lampunvarjostimen materiaalina. Polylaktidi sulaa

noin 160 °C asteessa, mikä on otettava huomioon käytettäessä sitä lampunvarjostimissa. Sillä pitää olla riittävä etäisyys valolähteeseen tai vaihtoehtoisesti tulee käyttää kuumentumatonta valolähdettä.

PLA:n ja villakudun yhdistelmä-materiaaleja voisi hyödyntää seinien pintamateriaalina joko äänieristeenä (esim. villakuituun sekoitettuna) tai tuomaan struktuurista ilmettä seiniin. Niitä voisi käyttää myös suojaavina seinien pintaratkaisuna pienten roiskeiden tai likaisuuden estämiseksi. PLA:n muovinkaltaiset ominaisuudet nousevat esiin erityisesti silloin, kun sitä on riittävästi komposiiteissa ja jolloin se antaa materiaalille vettä hylkivän pinnan, jota voi pyyhkiä kostealla liinalla.

PLA-pohjaisten kuitukankaiden hyödyntämiseen löytyi myös uusia ja mielenkiintoisia mahdollisuuksia; esim. kankaita leikkaamalla ja lämmön avulla päällekkäin yhdistämällä. Kuitukankaan etuna voi pitää myös sitä, että leikatessa sen reunat eivät purkaannu ja näin ollen sitä on nopea sekä helppo työstää. Eri värisiä kuitukankaita eri tavoin leikkattuna ja päällekkäin yhdisteltynä saa aikaan mielenkiintoiselta näyttävää pintaa varsin helposti. Osa leikatuista ja silittämällä päällekkäin yhdistellyistä kuitukaista muistuttivat jonkin verran Cajun-intiaanien tekemiä mola-kankaita, joissa leikattujen kankaiden päällekkäin yhdistäminen tapahtuu ompelemalla.

Tyhjiömuovauskoneen ja alipainepuristimen käyttö olivat uusia ja mielenkiintoisia kokemuksia. Niiden avulla PLA- ja villakuitujen yhdistelmä-materiaaleja sekä komposiitteja oli varsin nopeaa työstää. Ongelmina tosin pidin sitä, että tyhjiömuovauskoneen lämpöä ei voinut säätää ja alipainepuristinta käytettäessä piti muotit ja materiaalit lämmittää etukäteen uunissa sekä toimia riittävän ripeästi, etteivät ne ehtisi jäähtyä liikaa.

Kipsimuottien sijasta kannattaa toki hyödyntää esim. silikonimuotteja, koska kipsiainesta mureni toisinaan materiaalinäytteisiin kuumennuksen yhteydessä. Paperimassan lisääminen kipsimassaan esti jonkin verran kipsiaineen murenemistä sekä lisäsi kipsimuottien kestävyyttä kuumennuksen yhteydessä.

Avoimeksi jäi, mikä olisi muottien ja käyttämieni materiaalien ja optimaalinen kuumentamislämpötila sekä sen kesto. Sen selvittäminen systemaattisella mittaamisella ja sopivilla laitteilla olisi hyvä jatke opinnäytetyölleni. Myös tarkemmat mittaukset materiaalien suhteille eri käyttötarkoituksia ajatellen olisi pidemmälle johtava lähestymistapa. Myös selkeä energiankulutusvertailu kuitukankaiden valmistuksen ja kutomisen tai neulomisen sekä niihin tarvittavan langanvalmistuksen välillä olisi mielenkiintoista selvittää.

Olen kiitollinen tutkijoille kemian sekä bio- ja materiaalitekniikan laitoksilla, joissa on tehty ja tehdään tutkimuksia PLA:n ja muiden vastaavien ympäristömyönteisten materiaalien parissa. Ilman niitä tutkimuksia ei tämäkään opinnäytetyö olisi syntynyt.

Kirjallisuus

Flecher, Kate. 2008. Sustainable Fashion & Textiles Design Journeys. Julkaisija Earthscan UK, London and USA, Sterling. Gutenberg Press, Malta.

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, I. & Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet. Muoviyhdistys ry. Hakapaino Oy, Helsinki.

SFS-EN 13432. 2001. Pakkaukset. Vaatimukset pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-käsikirja 27-3. Tekstiilit. Osa3: Kuitukankaat, pinnoitetut kankaat. Joulukuu 2009. Kustantaja Suomen Standardisomisliitto SFS ry

Talvenmaa, Päivi. 1998. Tekstiilit ja ympäristö, eds. Matti Järventie, Juha Ahtinen, Tekstiili- ja vaatetusteollisuus ry, Tekstiili- ja jalkine toimittajat ry sekä Tekstiili- ja vaatetusteollisuuden Liitto ry. Helsinki. Tekstiili ja vaatetusteollisuus ry.

Sähköiset lähteet

Bioteknologia info. Biomuovit vaihtoehto teollisuudelle. Luettu: 6.9.2013. Saatavissa:
http://www.bioteknologia.info/uutiset/toimiala_ja_yritystalous/fi_FI/Biomuovit_vaihtoehto_teollisuudelle/

Duodecim Lääketieteellinen Aikakauskirja, 2004. Waris, E ym. Katsaus. (Eero Waris, Nureddin Ashammakhi, Ville Waris, Willy Serlo, Riitta Suuronen, Pertti Törmälä, Yrjö T. Konttinen ja Seppo Santavirta). Luettu 23.10.2013. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://www.duodecimlehti.fi/web/guest/haku?p_p_id=Article_WAR_DL6_Articleportlet&p_p_lifecycle=0&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_hakusana=Biohajoavien+kiinnittimien+käyttö%20luukirurgiassa&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_p_frompage=haku&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_viewType=viewArticle&_Article_WAR_DL6_Articleportlet_tunnus=duo94163

Ecotechnil Ltd. Luettu 25.1.2014. Saatavissa:
<http://www.ecotechnil.com/products-fibriplast.asp>

Edana. 2012.

A. EDANA-INDA Worldwide Outlook 2011-2016. Luettu 24.10.2013. Saatavissa:
<http://www.edana.org/newsroom/news-announcements/2012/12/11/worldwide-nonwovens-production-to-reach-10-millions-tonnes-by-2016---edana-inda-worldwide-outlook-now-available>

B. Facts and Figures ja Edana-Inda Worldwide Outlook 2011-2016. Luettu 24.10.2013. Saatavissa:
<http://www.edana.org/discover-nonwovens/facts-and-figures>

C. Discover nonwovens/How they are made. Luettu 24.10.2013. Saatavissa:
<http://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they%27re-made>

D. Discover nonwovens/How they are made/Formation. Saatavissa:
<http://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they%27re-made/formation>

E. Discover nonwovens/How they are made/Bonding. Saatavissa:
<http://www.edana.org/discover-nonwovens/how-they're-made/bonding>

F. Discover nonwovens/How they are made/Supply Chain. Saatavissa:
<http://www.edana.org/discover-nonwovens/supply-chain>

Ekotii/myynti ja tilaukset. Luettu 25.1.2014. Saatavissa:
<http://www.ekotii.fi/myyntijatilaukset.html>

European Bioplastics/Driving the evolution of plastics. 2012, 7. Luettu 29.9.2013 Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2012/publications/Imagebroschuere_Dec2012.pdf

European Bioplastics/Bioplastics facts and figures. 2013. Luettu 29.9.2013.Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://en.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2013/publications/EuBP_FactsFigures_bioplastics_2013.pdf

European Bioplastics/Market. 2013. Luettu 20.12.2013. Saatavissa:
<http://en.european-bioplastics.org/market/>

Futurenergia. Biohajoavat muovit: parempia ympäristölle. Luettu 20.9.2013. Saatavissa:
http://www.futurenergia.org/ww/fi/pub/futurenergia/chats/bio_plastics.htm

Grönholm Taija, 2010. Suomen ympäristöopisto SYKLI. Luettu 25.1.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
<http://draivi.sykli.fi/upload/media-4d41d4642a940.pdf>

Härkönen, Mika. Johtavava tutkija, VTT. Uusiouutiset- lehti 23.8.2013/Biomuovit kestävän kehityksen pakkausmateriaaleina. Luettu 18.11.2013. Saatavissa:
<http://www.uusiouutiset.fi/biomuovit-kestavan-kehityksen-pakkausmateriaaleina-2/>

Kareline Oy. Luettu 25.1.2014. Saatavissa:
<http://www.kareline.fi/fi/tuotteet/>

Kupilka/tuotteet. Luettu 25.1.2014. Saatavissa:
<http://www.kupilka.fi/fi/tuotteet>

Lehtiniemi, Päivi. Muovit ja kestävä kehitys. Esitys. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 24.2.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
<http://prosessi.wikispaces.com/file/view/muovit+ja+kestava+kehitys+Lehtiniemi.pdf>

Les m studio. Luettu 28.1.2014. Saatavissa:
<http://thedesighnhome.com/2011/07/diamond-coffee-table-by-les-m-design-studio/#>

Muovimuotoilu 2012. Materiaalit. Muovin koostumus. Luettu 28.12.2013.. Saatavissa:
<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/146/210/>

Muoviteollisuus ry, Muovitieto, muovit ja ympäristö. Biomuovit. Luettu 27.9.2013. Saatavissa:
http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit_ja_ymparisto/biomuovit/

Nature Works LLC

A. Nature Works LLC/Media/Technical Resources. Luettu 10.1.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://www.natureworksllc.com/~media/Technical_Resources/Fact_Sheets/Fibers/FactSheet_Fabrics_Fiber_FabricProperties_pdf.pdf

B. Nature Works LLC/Media/Technical Resources. Luettu 10.1.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://www.natureworksllc.com/~media/technical_resources/fact_sheets/fibers/factsheet_apparel_fibertofabric_pdf.pdf

Nilsson, Pia 25.–27.9. 2013. Biokomposiittien monet mahdollisuudet – esimerkkinä UPM ForMi. Suomen metsäyhdistys. Päättäjien 35.metsäakatemia. Luettu 15.1.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
[http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid/534ED28A99F9F846C2257BF80048C1B5/\\$file/Stefan%20Fors_PMA35_teksti.pdf](http://www.smy.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid/534ED28A99F9F846C2257BF80048C1B5/$file/Stefan%20Fors_PMA35_teksti.pdf)

Nytex Composites Co., Ltd. Luettu 23.2.2014. Saatavissa:
http://www.nytex.com.tw/en/bp_detail.phtml?id=1

Oldenburg, Kenneth 2012. Biomuovien tutkimus ja valinta puhallusmuovaukseen. Opinnäytetyö. Luettu 20.2.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52435/Oldenburg_Kenneth.pdf?sequence=1

Parjanen, Jukka-Pekka ja Andersson, Mirja 2009. Luonnonkuitukomposiittien tarveselvitys, 2009. Loppuraportti. Luettu 15.1.2014. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://oske-net-bin.directo.fi/@Bin/d699e2e1df006105b7dbe561b7ddb48f/1392814651/application/pdf/242195/Luonnonkuitukomposiittien_tarveselvitys_Loppuraportti_julkinen.pdf

Piironen Oy. Luettu 15.1.2014. Saatavissa:
<http://www.piironen.com/kalusteet/mallisto/compos/>

Randén, Reija 2007. Biohajoavien ja biostabiilien polymeerien aiheuttamat pehmytkudosreaktiot. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Biotekniikka. Luettu 22.10.2013. (alkuperäinen tieto: Rezwan, K., Q.Z. Chena, J.J. Blakera ja A. R. Boccaccinia. 2006. Biodegradable and bioactive porous polymer/inorganic composite scaffolds for bone tissue engineering. *Biomaterials*. 27:3413-3431.)
Saatavissa:
https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/18467/URN_NBN_fi_jyu-200803111257.pdf?sequence=1

Resinex Nordic Ab/Tuotteet/Nature Work. Luettu 20.10.2013. Saatavissa:
A. <http://www.resinex.fi/tuotteet/natureworks-ingeo.html> ja
B. <http://www.resinex.fi/polymeerilaatuja/pla.html>

Sustainability in Design: Now! Challenges and Opportunities for Design Research, Education and Practice in the XXI Century. Edited by Fabrizio Ceschin, Carlo Vezzoli and Jun Zhang (Härkäsalmi, Tiina ja Turto, Kirsi 2010. Environmentally conscious design research of linseed fibres.). Ladattavissa pdf-julkaisuna:
http://emma.polimi.it/emma/events/lensconference/images/LeNS_proceedings_vol1_lores.pdf

Södergård, Anders. Turun sanomat 23.12.2005. Biomuovit varteenotettava vaihtoehto teollisuudelle. Luettu 21.10.2013.
Saatavissa:
<http://www.ts.fi/mielipiteet/paakirjoitukset/1074090013/Biomuovit+varteenotettava+vaihtoehto+teollisuudellemme>

Tavani. Erikoismuovit/biohajoavat-pla. Luettu 29.9.2013. Saatavissa:
<http://www.tavani.fi/index.php/erikoismuovit/biohajoavat-pla>

VIA Growing materials Exhibition 2009. Luettu 20.1.2014. Saatavissa:
<http://en.via.fr/evenements-expo-matiereslausanne>

Teknimed S.A.S Biomaterials innovation. Luettu 23.2.2014. Saatavissa:
<http://www.teknimed.com/products-portfolio/products/orthopaedic-trauma-cmf/resorbable-osteosynthesis/euroscREW-platcp/>

VTT Uutiset /13.03.2013 - Kierrätyskartongista biohajoavia vaippoja. Luettu 24.10.2013. Saatavissa:
http://www.vtt.fi/news/2013/13032013_kuitukankaat.jsp

Wikipedia/Biohajoava muovi. Luettu 20.9.2013. Saatavissa:
http://fi.wikipedia.org/wiki/Biohajoava_muovi

Wikipedia/Poly(lactide acid). Luettu 29.9.2013 (Market Study Bioplastics, Ceresana, Dec 2011 ja Martin, O; Avérous, L. "Poly(lactide acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems". Polymer 42 (14): 6209–6219. doi:10.1016/S0032-3861(01)00086-6). Oma käännös Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Poly\(lactide_acid\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Poly(lactide_acid))

Wikipedia/Biokompositi. Luettu 15.1.2014. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biokompositi>

Ympäristöministeriö. Seppänen Ari, 2013. Kaatopaikkakielto ja jätehierarkia. Ladattavissa pdf-julkaisuna:
<http://files.kotisivukone.com/biolaitosyhdistys.palvelee.fi/seppanen.pdf>

Kuvat

Kuvien yhteydessä lähdeviitteet, joiden tarkemmat tiedot löytyvät sähköisten lähteiden luettelossa.

Muut kuvat: Päivi Ruismäki

Liitteet

Materiaalinäytekeräily

